

DIAGNOSIS KANKER PROSTAT
MENGGUNAKAN *FUZZY EXPERT SYSTEM*



oleh
NAOMI ARDIANA SARI
NIM M0102038

SKRIPSI

ditulis dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains Matematika

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET SURAKARTA

2007

SKRIPSI

**DIAGNOSIS KANKER PROSTAT
MENGUNAKAN *FUZZY EXPERT SYSTEM***

yang disiapkan dan disusun oleh

NAOMI ARDIANA SARI
M 0102038

dibimbing oleh

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Umi Salamah, M.Kom
NIP 132 162 555

Dewi Wisnu Wardani, S.Kom
NIP 132 308 420

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada hari Sabtu, tanggal 12 Mei 2007
dan dinyatakan telah memenuhi syarat.

Anggota Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Drs. Bambang Harjito, M.App.Sc
NIP 131 947 765
2. Sri Kuntari, M.Si
NIP 132 240 173
3. Hasih Pratiwi, M.Si
NIP 132 143 817

- 1.
- 2.
- 3.

Surakarta, 12 Mei 2007

Disahkan oleh

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,

Ketua Jurusan Matematika,

Drs. Marsusi, M.Si
NIP 130 906 776

Drs. Kartiko, M.Si
NIP 131 569 203

ABSTRAK

Naomi Ardiana Sari, 2007. DIAGNOSIS KANKER PROSTAT MENGGUNAKAN FUZZY EXPERT SYSTEM. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret.

Fuzzy Expert System (FES) adalah sistem pakar dengan inferensi *fuzzy*, yaitu suatu sistem komputasi lunak yang bekerja atas dasar penalaran *fuzzy*. FES telah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang kedokteran. Salah satu diantaranya adalah untuk mendiagnosis kanker prostat.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah mengkaji kembali secara teoritis jurnal dari Saritas *et al.* mengenai *Fuzzy Expert System* untuk diagnosis kanker prostat. Sistem ini menggunakan *Prostate Specific Antigen* (PSA), *age*, dan *Prostate Volume* (PV) sebagai parameter input dan *Prostate Cancer Risk* (PCR) sebagai outputnya.

Berdasarkan pembahasan dapat disimpulkan bahwa FES dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah diagnosis kanker prostat. Hasil perhitungan menggunakan FES memberikan hasil yang sesuai dengan prediksi dokter ahli. Lebih lanjut, FES untuk diagnosis kanker prostat mampu memberikan suatu persentase seseorang terkena resiko kanker prostat, sehingga dapat membantu dokter untuk mengambil keputusan perlu atau tidaknya tindakan biopsi bagi seorang pasien.

Kata kunci: Logika *fuzzy*, sistem pakar, kanker prostat, *Prostate Specific Antigen*, *Prostate Volume*.

ABSTRACT

Naomi Ardiana Sari, 2007. DIAGNOSIS OF PROSTATE CANCER USING FUZZY EXPERT SYSTEM. Faculty of Mathematics and Natural Sciences. Sebelas Maret University.

Fuzzy Expert System (FES) is an expert system with fuzzy inference, a soft computing system based on fuzzy logic. FES has been developed and applied to solve many challenging problems in medical area. One of them is to diagnose prostate cancer.

The aim of writing this thesis is analyzing and studying science journal of Saritas et al. about a Fuzzy Expert System design for diagnosis of prostate cancer. It used Prostate Specific Antigen (PSA), age, and Prostate Volume (PV) as the input parameters and Prostate Cancer Risk (PCR) as the output.

These results can be suggested that FES has the potential to accomplish significantly for diagnosing prostate cancer. The calculation result using FES show a good general agreement with the expert doctors' prediction. Furthermore, FES for diagnosis of prostate cancer can give a percentage, the possibility of prostate cancer and helps the doctors to decide to take a biopsy act.

Keywords: Fuzzy logic, expert system, prostate cancer, Prostate Specific Antigen, Prostate Volume.

MOTTO

TAKUT AKAN TUHAN ADALAH PERMULAAN PENGETAHUAN.

(bible)

*Segala perkara dapat kutanggung di dalam DIA
yang memberi kekuatan kepadaku.*

(bible)

Keputusan yang diambil hari ini akan mempengaruhi perjalanan hari esok.

(anonim)

**Keberhasilan tidak diukur dari apa yang telah diraih,
namun dari kegagalan yang telah dihadapi dan keberanian
untuk tetap berjuang melawan rintangan yang datang bertubi-tubi.**

(Orison Swett Marden)

Everything is Possible Through Prayer.

(Charles L. Allen)

Just never say give up !

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ini untuk

- ॐ Papa 'J'. Terima kasih untuk setiap detik yg tak pernah terlewatkan.
- ॐ Ibu tersayang. Engkau tetap yang terbaik.
- ॐ Bapak. Terima kasih buat kesabarannya dalam membimbingku.
- ॐ My 'big' brother, Nico.
- ॐ My beloved "piko". Thx for ur love, pray & support to me, there's no more beautiful moments except sharing tears & laughs with u.
- ॐ My best friend: Trisna, Aat, Veni, Dwee, Lia, Kusuma, Scha & Inox.
- ॐ Above all, CELESTE (my dream).

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Sang Khalik Semesta Alam atas segala bimbingan dan penerangan-Nya, sehingga skripsi “ Diagnosis Kanker Prostat Menggunakan *Fuzzy Expert System* ” dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyadari begitu banyaknya bantuan, bimbingan serta dukungan yang diberikan dalam proses penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Umi Salamah, M.Kom selaku dosen pembimbing I dan Ibu Dewi Wisnu Wardani, S.Kom selaku dosen pembimbing II yang dengan sabar mengarahkan dan membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Supriyadi, M.Si selaku pembimbing akademis yang telah memberikan bimbingan, masukan dan dorongan semangat selama proses belajar sampai penyusunan skripsi ini.
3. Segenap dosen, karyawan dan seluruh civitas Fakultas MIPA UNS.
4. Seluruh teman-teman Jurusan Matematika Fakultas MIPA UNS khususnya angkatan 2002 dan 2003.
5. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna, baik bagi penulis maupun pihak lain, sebagai media keilmuan serta informasi.

Surakarta, 12 Mei 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penulisan.....	3
1.5 Manfaat Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.1.1 Himpunan <i>Crisp</i>	4
2.1.2 Himpunan <i>Fuzzy</i>	4
2.1.3 Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	6
2.1.4 Logika <i>Fuzzy</i>	9
2.1.5 Operator <i>Fuzzy</i>	9
2.1.6 Inferensi Sistem <i>Fuzzy</i>	10
2.1.7 Kanker Prostat.....	12

2.2 Kerangka Pemikiran.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	15
BAB IV PEMBAHASAN.....	16
4.1 Konstruksi FES	16
4.1.1 Deskripsi Masalah.....	16
4.1.2 Fuzzifikasi	17
4.1.3 <i>Fuzzy Rules</i>	23
4.1.4 Inferensi Sistem <i>Fuzzy</i>	24
4.2 Contoh Kasus	25
4.2.1 Contoh 1	25
4.2.2 Contoh 2	37
4.2.3 Contoh 3	47
BAB V PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Orang-orang dengan tinggi badan yang berbeda	6
Gambar 2.2 Fungsi keanggotaan TINGGI menggunakan himpunan <i>crisp</i>	7
Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan TINGGI menggunakan himpunan <i>fuzzy</i>	7
Gambar 2.4 Kurva fungsi keanggotaan segitiga	8
Gambar 2.5 Kurva fungsi keanggotaan trapesium.....	8
Gambar 2.6 Penggambaran pemetaan input-output pada masalah produksi.....	9
Gambar 2.7 Fungsi implikasi Min	11
Gambar 4.1 Skema FES	17
Gambar 4.2 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PSA.....	19
Gambar 4.3 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel <i>age</i>	20
Gambar 4.4 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PV	21
Gambar 4.5 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PCR	22
Gambar 4.6 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{22} pada contoh 1	27
Gambar 4.7 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{23} pada contoh 1	28
Gambar 4.8 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{26} pada contoh 1	29
Gambar 4.9 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{27} pada contoh 1	31
Gambar 4.10 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{42} pada contoh 1	32
Gambar 4.11 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{43} pada contoh 1	33
Gambar 4.12 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{46} pada contoh 1	34
Gambar 4.13 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{47} pada contoh 1	35
Gambar 4.14 Daerah hasil komposisi <i>rules</i> pada contoh 1.....	36
Gambar 4.15 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{52} pada contoh 2	39
Gambar 4.16 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{56} pada contoh 2	40
Gambar 4.17 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{60} pada contoh 2	41
Gambar 4.18 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{72} pada contoh 2	42
Gambar 4.19 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} pada contoh 2	43
Gambar 4.20 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{80} pada contoh 2	44

Gambar 4.21	Daerah hasil komposisi <i>rules</i> pada contoh 2.....	45
Gambar 4.22	Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{56} pada contoh 3	49
Gambar 4.23	Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{60} pada contoh 3	50
Gambar 4.24	Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} pada contoh 3	51
Gambar 4.25	Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{80} pada contoh 3	52
Gambar 4.26	Daerah hasil komposisi <i>rules</i> pada contoh 3.....	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Variabel FES	17
Tabel 4.2 Himpunan input <i>fuzzy</i>	18
Tabel 4.3 Himpunan output <i>fuzzy</i>	21
Tabel 4.4 Perbandingan hasil perhitungan dengan FES dan prediksi dokter ahli	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel <i>fuzzy rules</i>	58
Lampiran 2 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=2 ng/ml, <i>age</i> =20 thn, dan PV=35 ml	61
Lampiran 3 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=3 ng/ml, <i>age</i> =45 thn, dan PV=90 ml	64
Lampiran 4 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=4 ng/ml, <i>age</i> =20 thn, dan PV=44 ml	67
Lampiran 5 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=12 ng/ml, <i>age</i> =55 thn, dan PV=200 ml	70
Lampiran 6 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=15 ng/ml, <i>age</i> =60 thn, dan PV=250 ml	73
Lampiran 7 <i>Rules viewer</i> untuk nilai PSA=40 ng/ml, <i>age</i> =65 thn, dan PV=211 ml	76

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A	: himpunan <i>crisp</i>
a	: elemen dalam A
X_A	: fungsi karakteristik A
\mathcal{A}	: himpunan <i>fuzzy</i>
\mathcal{X}	: semesta pembicaraan
x	: elemen dalam \mathcal{X}
$\mu_{\mathcal{A}}(x)$: fungsi keanggotaan x dalam himpunan <i>fuzzy</i> \mathcal{A}
μ	: derajat keanggotaan
p, q, r, s	: konstanta
a	: kadar PSA
b	: usia (<i>age</i>)
c	: kadar PV
d	: nilai PCR
μ_{PSA}	: derajat keanggotaan untuk variabel PSA
μ_{Age}	: derajat keanggotaan untuk variabel <i>age</i>
μ_{PV}	: derajat keanggotaan untuk variabel PV
α	: derajat kebenaran hasil komposisi <i>fuzzy rules</i>
α_i	: derajat kebenaran hasil komposisi <i>fuzzy rules</i> ke- i
\in	: elemen dari (simbol keanggotaan)
\notin	: bukan elemen dari (simbol bukan keanggotaan)
\wedge	: operator minimum
\vee	: operator maksimum
\cap	: irisan himpunan
\cup	: union himpunan
\approx	: sepadan secara aproksimasi dengan
R_i	: <i>rule</i> ke- i
\mathbb{R}	: kumpulan bilangan real

d_i	: nilai PCR hasil komposisi <i>fuzzy rules</i> ke-i
z^*	: titik pusat daerah <i>fuzzy</i>
d^*	: titik pusat daerah <i>fuzzy</i> untuk variabel PCR
M	: momen
M_i	: momen daerah ke-i
D	: luas daerah <i>fuzzy</i>
D_i	: luas daerah <i>fuzzy</i> ke-i

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Semakin berkembangnya teknologi kedokteran mengakibatkan semakin banyaknya informasi yang tersedia bagi para dokter dalam penentuan jenis penyakit, pengenalan gejala-gejala penyakit, serta pengambilan keputusan untuk tindakan terapi bagi suatu penyakit. Suatu penyakit dapat memunculkan gejala-gejala yang berbeda dalam diri pasien yang berlainan. Begitu pula suatu gejala dapat merupakan gejala dari beberapa macam penyakit yang berlainan. Adanya beberapa macam penyakit dalam diri seorang pasien dapat mengacaukan gejala-gejala yang biasanya muncul akibat masing-masing penyakit tersebut. Untuk itu diperlukan adanya suatu metode yang mampu memecahkan masalah diagnosis medis tersebut.

Semakin disadari bahwa penyelesaian masalah dalam dunia nyata dewasa ini memerlukan suatu *expert system* (sistem pakar) yang dapat memanfaatkan pengetahuan, teknik, dan metodologi dari berbagai sumber. *Expert system* ini diharapkan dapat berfungsi seperti kecerdasan manusia, yang dapat belajar dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya serta mengambil keputusan-keputusan yang paling tepat. Berbagai cara telah dikembangkan untuk menciptakan *expert system* semacam itu. Salah satunya adalah yang dipelopori oleh Zadeh, yaitu suatu konsep yang diberi nama komputasi lunak (*soft computing*). Komputasi lunak adalah sistem komputasi yang memberi tempat pada kekaburan dalam dunia nyata dan memakai otak manusia sebagai modelnya. Dalam komputasi lunak metodologi dari berbagai sumber dipadukan, seperti logika *fuzzy*, jaringan syaraf (*neural networks*), algoritma genetika (*genetic algorithms*), statistik Bayesian, dan teori *chaos* (Susilo, 2003).

Logika *fuzzy*, yang pertama kali diperkenalkan oleh Lofti A. Zadeh dari Universitas California, Barkeley pada tahun 1965, digunakan untuk menangani kekaburan. Logika *fuzzy* sudah banyak diterapkan di pelbagai bidang, baik di

dunia industri maupun bisnis. Bahkan sekarang ini aplikasi logika *fuzzy* semakin menjamur seiring dengan perkembangan teknologi komputasi yang semakin pesat. Salah satu aplikasi logika *fuzzy* yang telah berkembang luas dewasa ini adalah *expert system* dengan inferensi *fuzzy* (*Fuzzy Expert System*), yaitu sistem komputasi lunak yang bekerja atas dasar penalaran *fuzzy*.

Fuzzy Expert System (FES) telah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang kedokteran. Sistem ini dapat digunakan sebagai langkah pengambilan keputusan untuk mengindikasikan adanya suatu penyakit. Sebagai contoh, ONCOCIN dan ONCO-HELP merupakan suatu FES yang digunakan untuk diagnosis penyakit kanker. ONCO-HELP secara khusus mampu mendeteksi adanya tumor dalam tubuh seorang pasien. ONCO-HELP juga mampu mengevaluasi konsep ini dengan menggunakan terapi kontrol berdasarkan kemajuan dan kemunduran tumor serta efek samping dari terapi tersebut (Saritas *et al.*, 2003).

Keberhasilan dari FES adalah kemampuannya dalam meningkatkan metode klasifikasi manual yang biasa digunakan para dokter secara signifikan, sehingga bukanlah tidak mungkin mendiagnosis kanker prostat dengan metode ini. Oleh karena itu, dalam skripsi ini penulis tertarik untuk mengkaji kembali aplikasi dari *expert system* menggunakan logika *fuzzy* untuk diagnosis kanker prostat berdasarkan hasil penelitian Saritas *et al.* yang berjudul *A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Prostate Cancer*. Dalam skripsi ini, penulis akan melengkapi fungsi keanggotaan dari setiap variabel *fuzzy* dan keseluruhan *fuzzy rules* yang diperlukan. Selain itu, untuk menunjukkan keakuratan sistem FES dengan prediksi dokter ahli, maka akan diuraikan pula perhitungan menggunakan FES pada suatu contoh kasus.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana FES digunakan untuk mendiagnosis kanker prostat.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan dalam penulisan skripsi ini hanya menyangkut kajian secara teoritis masalah penggunaan logika *fuzzy* untuk diagnosis kanker prostat, sedangkan proses pengambilan data dari setiap variabel input diabaikan.

1.4 Tujuan Penulisan

Berdasarkan perumusan masalah, tujuan dari penulisan skripsi ini adalah menunjukkan bahwa FES dapat membantu mendiagnosis kanker prostat.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat skripsi ini adalah sebagai suatu alat bantu bagi dokter dalam mendiagnosis kanker prostat.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini diberikan beberapa teori yang digunakan dalam penulisan skripsi, antara lain pengertian tentang himpunan *crisp*, himpunan *fuzzy*, fungsi keanggotaan *fuzzy*, logika *fuzzy*, operator *fuzzy*, inferensi sistem *fuzzy*, dan kanker prostat.

2.1.1 Himpunan Crisp

Menurut Yan *et al.* (1994), himpunan *crisp* A didefinisikan oleh elemen-elemen yang ada pada himpunan itu. Jika $a \in A$, maka a bernilai 1. Namun, jika $a \notin A$, maka a bernilai 0. Notasi $A = \{x|P(x)\}$ menunjukkan bahwa A berisi elemen x dengan sifat P adalah benar. Jika X_A merupakan fungsi karakteristik A dengan sifat P , maka dapat dikatakan bahwa $P(x)$ benar jika dan hanya jika $X_A(x) = 1$.

2.1.2 Himpunan Fuzzy

Menurut Yan *et al.* (1994), himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik pada himpunan *crisp* sedemikian sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0,1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu elemen dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 dan 1, namun juga nilai yang terletak di antaranya. Dengan kata lain, nilai kebenaran suatu pernyataan tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 1 menunjukkan benar, nilai 0 menunjukkan salah dan masih ada nilai-nilai yang terletak antara benar dan salah.

Definisi 2.1 (Pal dan Majumder, 1986) *Himpunan fuzzy \mathcal{A} dalam semesta pembicaraan \mathcal{X} ialah kelas kejadian (class of events) dengan fungsi keanggotaan $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ kontinu yang dihubungkan dengan setiap titik dalam \mathcal{X} oleh bilangan real dalam interval $[0,1]$ dengan nilai $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ pada x menyatakan derajat keanggotaan x dalam \mathcal{A} .*

Himpunan fuzzy mempunyai 2 atribut, yaitu linguistik dan numerik. Linguistik merupakan penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti tinggi (*high*), rendah (*low*), besar (*big*), dan bagus (*good*). Numerik adalah suatu nilai atau angka yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti 40, 120, dan 325 (Kusumadewi dan Purnomo, 2004).

Definisi 2.2 (Kusumadewi dan Purnomo, 2004) *Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy.*

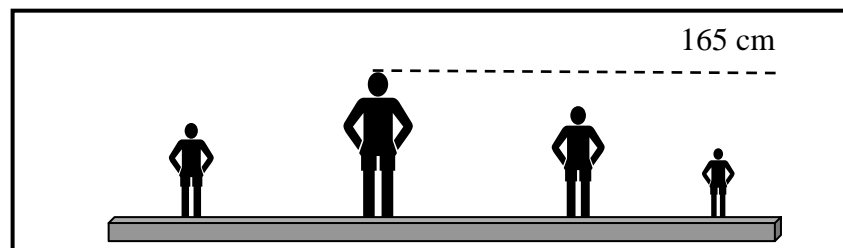
Definisi 2.3 (Kusumadewi dan Purnomo, 2004) *Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy.*

Definisi 2.4 (Wahyudi, 2005) *Fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah suatu variabel input dari bentuk crisp menjadi variabel linguistik dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaannya masing-masing.*

2.1.3 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Definisi 2.5 (The Mathworks, 1984) Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai dengan 1.

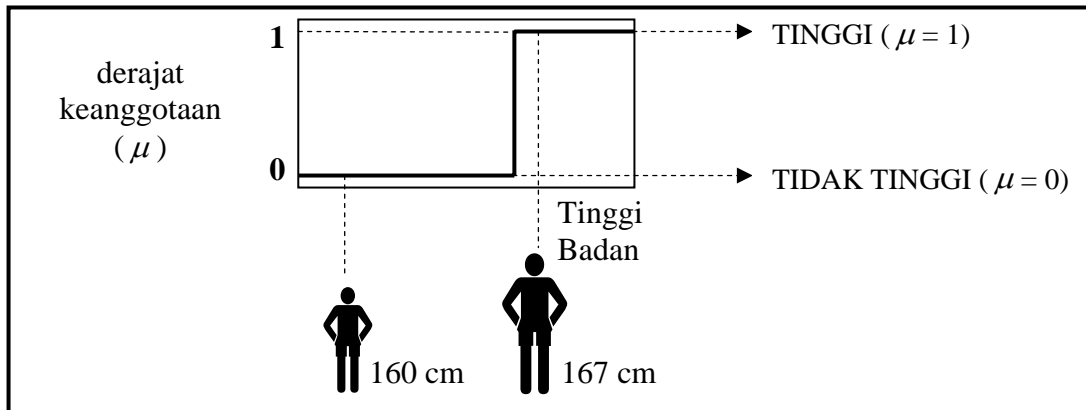
Sebagai contoh, diberikan himpunan orang-orang dengan tinggi badan yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 2.1. Kata TINGGI menunjukkan derajat seberapa besar orang dikatakan tinggi. Misal, seseorang dikatakan TINGGI jika memiliki tinggi badan lebih dari 165 cm.



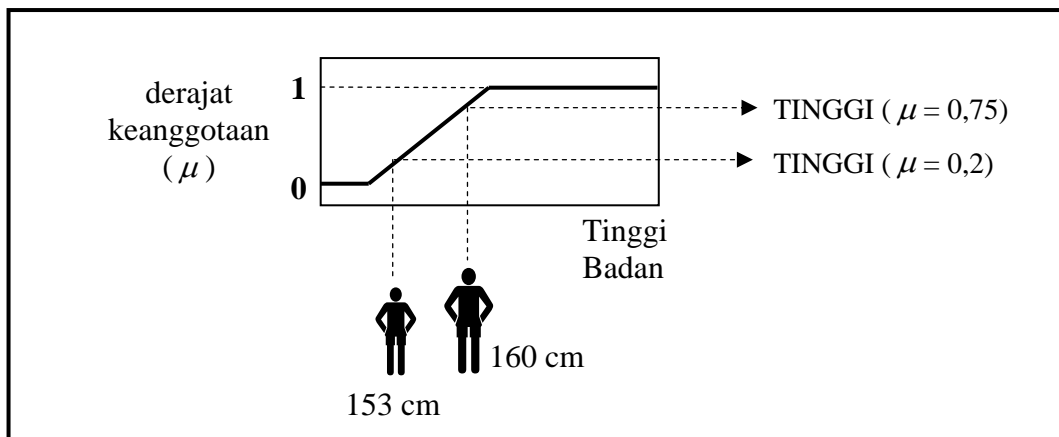
Gambar 2.1 Orang-orang dengan tinggi badan yang berbeda

Jika menggunakan himpunan *crisp*, maka secara tegas dapat dikatakan bahwa orang yang memiliki tinggi badan lebih dari 165 cm dikatakan TINGGI dengan derajat keanggotaan $\mu = 1$. Sebaliknya, jika seseorang memiliki tinggi badan kurang dari atau sama dengan 165 cm, maka secara tegas dikatakan bahwa orang tersebut TIDAK TINGGI dengan $\mu = 0$ (Gambar 2.2). Hal ini menjadi tidak adil, karena untuk orang yang memiliki tinggi badan 165,1 cm dikatakan TINGGI, sedangkan orang yang memiliki tinggi badan 165 cm dikatakan TIDAK TINGGI.

Jika digunakan himpunan *fuzzy*, maka dapat dibuat suatu fungsi keanggotaan *fuzzy* yang bersifat kontinu. Orang yang memiliki tinggi badan 160 cm sudah mendekati tinggi, artinya dia dikatakan TINGGI dengan $\mu = 0,75$. Orang yang memiliki tinggi badan 153 cm, dia memang kurang tinggi, artinya dia dikatakan TINGGI dengan $\mu = 0,2$ (Gambar 2.3).



Gambar 2.2 Fungsi keanggotaan TINGGI menggunakan himpunan *crisp*



Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan TINGGI menggunakan himpunan *fuzzy*

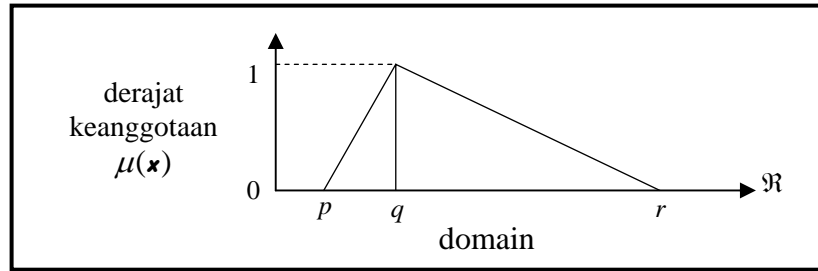
Untuk mendapatkan nilai keanggotaan *fuzzy* digunakan pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi keanggotaan yang dapat digunakan, seperti fungsi-S, fungsi gauss, fungsi- π , fungsi beta, fungsi keanggotaan segitiga, dan fungsi keanggotaan trapesium. Dalam skripsi ini, hanya digunakan fungsi keanggotaan dengan bentuk sederhana, yaitu fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.

1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Definisi 2.6 (Susilo, 2003) Suatu fungsi keanggotaan *fuzzy* disebut fungsi keanggotaan segitiga jika mempunyai tiga buah parameter, yaitu $p, q, r \in \mathbb{R}$ dengan $p < q < r$, dan dinyatakan dengan aturan

$$\mu(x, p, q, r) = \begin{cases} \frac{x-p}{q-p}; & p < x \leq q \\ \frac{r-x}{r-q}; & q \leq x < r \\ 0; & x \leq p \text{ atau } x \geq r \end{cases}.$$

Gambar 2.4 memperlihatkan sebuah kurva fungsi keanggotaan segitiga.



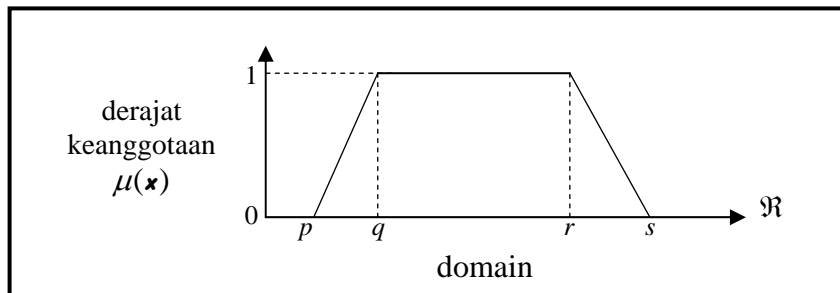
Gambar 2.4 Kurva fungsi keanggotaan segitiga

2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Definisi 2.7 (Susilo, 2003) Suatu fungsi keanggotaan fuzzy disebut fungsi keanggotaan trapesium jika mempunyai empat buah parameter, yaitu $p, q, r, s \in \mathbb{R}$ dengan $p < q < r < s$, dan dinyatakan dengan aturan

$$\mu(x, p, q, r, s) = \begin{cases} (x-p)/(q-p) & p < x < q \\ 1 & q \leq x \leq r \\ (s-x)/(s-r) & r \leq x < s \\ 0 & x \leq p \text{ atau } x \geq s \end{cases}.$$

Gambar 2.5 memperlihatkan sebuah kurva fungsi keanggotaan trapesium.



Gambar 2.5 Kurva fungsi keanggotaan trapesium

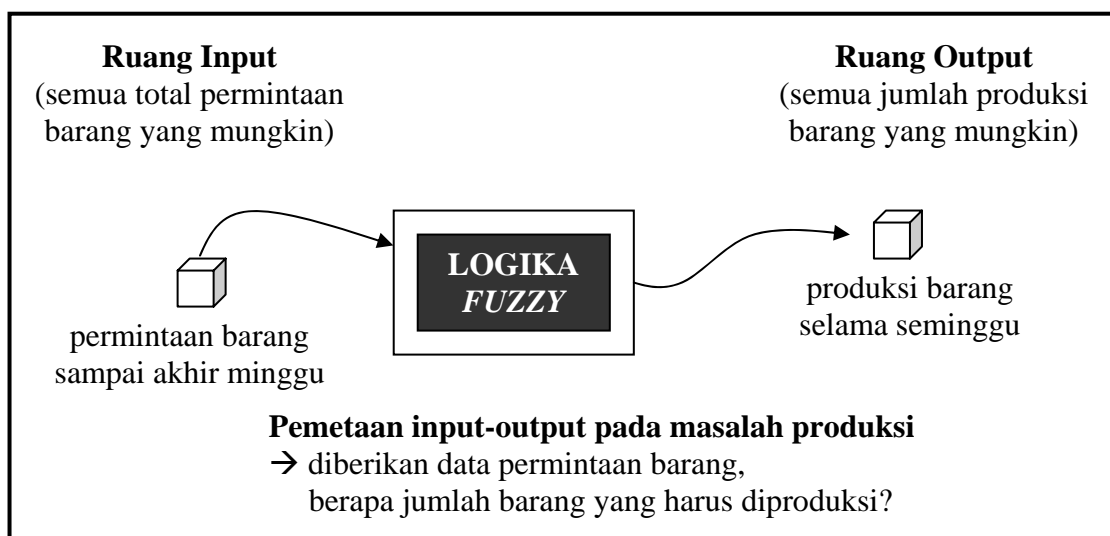
2.1.4 Logika Fuzzy

Definisi 2.8 (Kusumadewi, 2002) *Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam ruang output.*

Sebagai contoh:

- Manajer pemasaran mengatakan pada manajer produksi berapa banyak permintaan barang sampai pada akhir minggu ini, kemudian manajer produksi akan menetapkan jumlah barang yang harus diproduksi esok hari.
- Pelayan hotel memberikan pelayanan terhadap tamu, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai atas baik tidaknya pelayanan yang diberikan.

Salah satu contoh penggambaran pemetaan suatu ruang input ke dalam ruang output terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Penggambaran pemetaan input-output pada masalah produksi

2.1.5 Operator Fuzzy

Menurut Dubois dan Prade (1980), operator dasar himpunan *fuzzy* adalah

- Operator **AND**

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan *crisp*.

Hasil operasi dengan operator **AND** diperoleh dengan mengambil derajat

keanggotaan minimum antar himpunan *fuzzy* yang bersangkutan dan direpresentasikan dengan

$$\forall G, H \subset \mathcal{A}, x \in \mathcal{A}, \mu_{G \cap H}(x) = \min(\mu_G(x), \mu_H(x)).$$

b. Operator **OR**

Operator ini berhubungan dengan operasi *union* pada himpunan *crisp*. Hasil operasi dengan operator **OR** diperoleh dengan mengambil derajat keanggotaan maksimum antar himpunan *fuzzy* yang bersangkutan dan direpresentasikan dengan

$$\forall G, H \subset \mathcal{A}, x \in \mathcal{A}, \mu_{G \cup H}(x) = \max(\mu_G(x), \mu_H(x)).$$

c. Operator **NOT**

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan *crisp*. Komplemen suatu himpunan *fuzzy* direpresentasikan dengan

$$\forall G \subset \mathcal{A}, x \in \mathcal{A}, \mu_{\bar{G}}(x) = 1 - \mu_G(x).$$

2.1.6 Inferensi Sistem Fuzzy

Pada skripsi ini diperkenalkan *conditional fuzzy proposition* sebagai awal dari inferensi sistem *fuzzy*. Menurut Kusumadewi (2002), *conditional fuzzy proposition* merupakan bentuk relasi *fuzzy* yang ditandai dengan penggunaan pernyataan *IF*. Secara umum dituliskan

$$IF T \text{ is } t \text{ THEN } U \text{ is } u$$

dengan T dan U adalah variabel *fuzzy*, t dan u adalah variabel linguistik. Proposisi yang mengikuti *IF* disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti *THEN* disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan penghubung *fuzzy*, yaitu

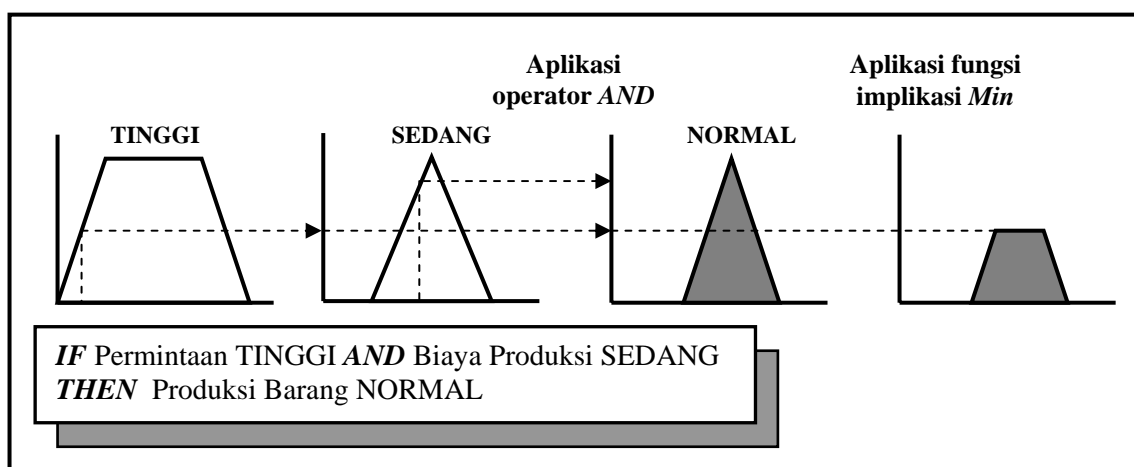
$$IF (T_1 \text{ is } t_1) \bullet (T_2 \text{ is } t_2) \bullet (T_3 \text{ is } t_3) \bullet \dots \bullet (T_n \text{ is } t_n) \text{ THEN } U \text{ is } u$$

dengan \bullet adalah suatu operator (misal : **OR** atau **AND**).

Secara umum *conditional fuzzy proposition* dapat menggunakan 2 fungsi implikasi, yaitu **Min** (minimum) dan **Dot** (*product*). Fungsi implikasi **Min** akan memotong output himpunan *fuzzy*, sedangkan fungsi implikasi **Dot** akan menskala

output himpunan *fuzzy*. Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah **Min**. Gambar 2.7 menunjukkan salah satu contoh penggunaan fungsi **Min**.

Jika sistem *fuzzy* terdiri dari beberapa *rule*, maka inferensi diperoleh dari komposisi antar *rule*. Metode komposisi *rules* yang digunakan pada metode Mamdani adalah metode **Max**. Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai keanggotaan maksimum dari keseluruhan *rules*, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator **OR**.



Gambar 2.7 Fungsi implikasi **Min**

Definisi 2.9 (Kusumadewi, 2002) Proses defuzzifikasi merupakan suatu bentuk inferensi sistem *fuzzy* dengan inputnya adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi *fuzzy rules*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut, sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai outputnya.

Menurut Jang *et al.* (2004), beberapa metode defuzzifikasi yang dapat digunakan, antara lain:

- Metode *Centroid (Composite Moment)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan

$$z^* = \frac{\int z \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz}$$

dengan z : variabel output,

z^* : titik pusat daerah *fuzzy*,

$\mu(z)$: fungsi keanggotaan dari variabel output.

b. Metode *Bisector*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*.

c. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.1.7 Kanker Prostat

Kelenjar prostat adalah salah satu kelenjar seks pada pria yang berukuran kecil, terletak di bawah kandung kemih dan mengelilingi saluran urin. Kelenjar ini berperan dalam membuat senyawa yang penting bagi pembentukan cairan semen. Selain itu kerja kelenjar prostat bersama dengan otot-otot kandung kemih adalah mengontrol aliran urin melewati uretra.

Kanker prostat adalah penyakit yang menyerang kelenjar prostat. Sel-sel kelenjar prostat tumbuh abnormal dan tidak terkendali, sehingga mendesak dan merusak jaringan sekitarnya bahkan dapat mengakibatkan kematian. Data dari 13

Fakultas Kedokteran Negeri di Indonesia menunjukkan kanker prostat termasuk dalam 10 penyakit ganas pada pria (PERSI, 2003).

Menurut PERSI (2003), kadar *Prostate Specific Antigen* (PSA), usia (*age*), *Prostate Volume* (PV), kadar hormon testosteron, ras, dan riwayat keluarga dapat menjadi faktor resiko yang mempengaruhi terjadinya penyakit kanker prostat. Dalam skripsi ini dipilih PSA, *age*, dan PV sebagai faktor resiko untuk menentukan diagnosis kanker prostat. Ketiga faktor resiko inilah yang kemudian menjadi variabel *fuzzy* pada FES untuk diagnosis kanker prostat.

a. PSA

Menurut PERSI (2003), PSA merupakan suatu rantai tunggal glikoprotein yang terdiri dari 237 asam amino dan 4 rantai samping karbohidrat. PSA digunakan untuk mendeteksi kadar protein spesifik dalam darah. Tingginya kadar protein tersebut dapat menunjukkan kemungkinan kanker prostat, bahkan pada gejala awal penyakit sekalipun. Kadar normal PSA dalam darah adalah 0-4 ng/ml (nanogram per mililiter). Bila kadarnya antara 4-10 ng/ml, interpretasinya dapat berbeda karena masih bisa normal pada orang yang dalam kondisi tertentu atau dapat merupakan tanda kanker. Kadar yang lebih dari 10 ng/ml merupakan tanda yang cukup akurat untuk keberadaan kanker prostat.

b. Usia

Usia memegang peranan penting sebagai faktor resiko terbesar kanker prostat. Semakin lanjut usia, resiko terjadinya kanker prostat meningkat. Menurut survei PERSI (2003), pria menjelang usia 50 tahun, sebagian besar mengalami pembesaran prostat yang menyebabkan adanya tumor prostat kecil. Pada usia 80 tahun, sekitar 70 % pria dapat dibuktikan memiliki kanker prostat secara histopatologi (ilmu yang mempelajari tentang penyakit pada jaringan tubuh manusia).

c. PV

PV pada penderita kanker prostat lebih tinggi daripada keadaan normal, ini dikarenakan sel-sel kelenjar prostat tumbuh abnormal. Selain itu, besarnya PV juga mempengaruhi kadar PSA. Hal ini menjadi pertimbangan pemilihan PV sebagai faktor resiko terjadinya kanker prostat.

2.2 Kerangka Pemikiran

Dengan mengacu teori-teori pada tinjauan pustaka, dapat disusun suatu kerangka pemikiran dari skripsi ini sebagai berikut. Kanker prostat adalah salah satu penyakit ganas pada pria. Deteksi dini keberadaan kanker prostat bagi seorang pasien dapat membantu menentukan langkah pengobatan selanjutnya lebih awal. Suatu FES dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya resiko kanker prostat pada seorang pasien. Data yang diperlukan untuk membangun sistem ini adalah PSA (*Prostate Specific Antigen*), *age*, dan PV (*Prostate Volume*) sebagai input, sedangkan output yang dihasilkan adalah PCR (*Prostate Cancer Risk*). Dari variabel input dan output tersebut ditentukan himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaannya sebagai langkah fuzzifikasi. *Fuzzy rules* didapatkan dari kombinasi variabel input *fuzzy* yang telah ditentukan sebelumnya. *Rules* ini ditentukan berdasarkan pandangan dari dokter ahli. Berdasarkan *rules* yang telah diperoleh, maka inferensi sistem *fuzzy* dapat dilakukan dengan menentukan aplikasi fungsi implikasi, komposisi *rules*, dan metode defuzzifikasi. Selanjutnya FES yang sudah dibuat diaplikasikan pada suatu contoh kasus. Untuk menguji keakuratan FES, persentase PCR yang diperoleh dibandingkan dengan interval persentase PCR prediksi dokter ahli (Saritas *et al.*, 2003).

BAB III

METODE PENELITIAN

Penulisan skripsi ini bersifat studi literatur, dengan mengkaji kembali hasil penelitian Saritas *et al.* yang berjudul *A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Prostate Cancer*. Keseluruhan bahan untuk penulisan skripsi ini diambil dari jurnal dan buku referensi, sedangkan perhitungannya dibantu dengan perangkat lunak *Matlab* 6.1.

Adapun langkah-langkah yang diperlukan untuk mencapai tujuan dari penulisan skripsi ini adalah

1. menyajikan deskripsi masalah dari *Fuzzy Expert System* (FES) untuk diagnosis kanker prostat,
2. menentukan variabel input dan output *fuzzy* beserta fungsi keanggotaannya,
3. menentukan *fuzzy rules* berdasarkan kombinasi himpunan *fuzzy* dari setiap variabel input,
4. menentukan aplikasi fungsi implikasi, komposisi *rules*, dan defuzzifikasi sebagai langkah untuk melakukan inferensi sistem *fuzzy*,
5. mengaplikasikan FES yang telah dibuat pada suatu contoh kasus, kemudian persentase PCR yang diperoleh dibandingkan dengan interval persentase PCR prediksi dokter ahli (Saritas *et al.*, 2003).

BAB IV

PEMBAHASAN

Bab ini diawali dengan subbab 4.1 yang membahas konstruksi *Fuzzy Expert System* (FES) untuk masalah diagnosis kanker prostat. Subbab 4.2 membahas penggunaan FES yang telah dibuat pada suatu contoh kasus. Keseluruhan pembahasan pada bab ini diacu dari Saritas *et al.* (2003).

4.1 Konstruksi FES

Konstruksi FES meliputi deskripsi masalah, penentuan variabel input dan output *fuzzy* (fuzzifikasi), penentuan *fuzzy rules*, dan sistem inferensi *fuzzy*.

4.1.1 Deskripsi Masalah

FES untuk diagnosis kanker prostat yang dibuat ini digunakan untuk menentukan persentase *Prostate Cancer Risk* (PCR) berdasarkan data *Prostate Specific Antigen* (PSA), *age*, dan *Prostate Volume* (PV). Sistem ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut.

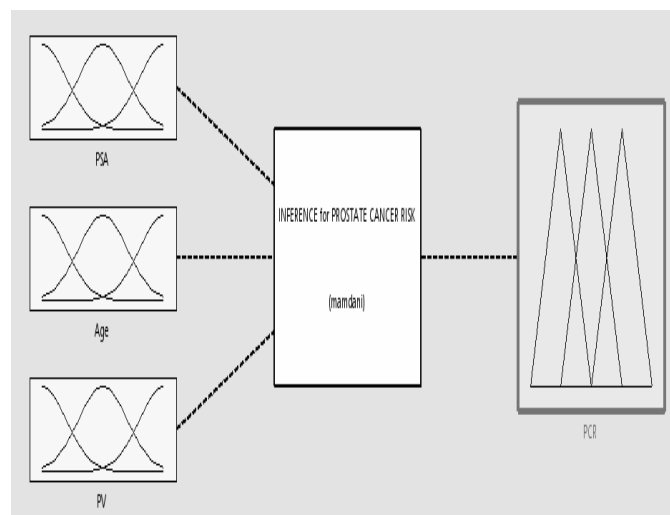
1. Perancangan sistem dibuat dengan penalaran *fuzzy* menggunakan metode Mamdani. Pada metode ini, input maupun output sistem berupa himpunan *fuzzy*.
2. Sistem hanya terikat pada variabel PSA, *age*, dan PV sebagai input serta PCR sebagai output.
3. Kebijakan khusus di luar variabel yang digunakan diatur secara terpisah di luar sistem ini.
4. Pembuatan *rules* dalam basis pengetahuan berdasarkan pandangan para dokter ahli yang terkait dengan bidang ini.

FES yang dirancang untuk diagnosis kanker prostat ini mempunyai 3 input dan 1 output seperti terlihat pada Tabel 4.1, sedangkan penggambaran sistem secara keseluruhan terlihat pada Gambar 4.1.

Pada kenyataannya pengambilan data untuk variabel input PSA dan PV tidak dapat dilakukan hanya dengan pengamatan langsung, tetapi membutuhkan bantuan peralatan khusus untuk menentukan ukuran dari variabel input tersebut. Hal-hal yang berkaitan dengan proses pengambilan data tidak dibahas secara detail dalam skripsi ini, sehingga pengerjaan FES untuk diagnosis kanker prostat ini diasumsikan bahwa data sudah tersedia.

Tabel 4.1 Variabel FES

	Nama Variabel	Notasi	Semesta Pembicaraan	Satuan
Input	<i>Prostate Specific Antigen (PSA)</i>	a	[0, 50]	ng/ml
	<i>Age</i>	b	[0, 100]	tahun
	<i>Prostate Volume (PV)</i>	c	[3,8, 310]	ml
Output	<i>Prostate Cancer Risk (PCR)</i>	d	[0, 100]	%



Gambar 4.1 Skema FES

4.1.2 Fuzzifikasi

Himpunan *fuzzy* yang digunakan tiap-tiap variabel terlihat pada Tabel 4.2 untuk himpunan input *fuzzy* dan Tabel 4.3 untuk himpunan output *fuzzy*.

Tabel 4.2 Himpunan input *fuzzy*

Variabel <i>Fuzzy</i>		Himpunan <i>Fuzzy</i>		Domain
Nama	Notasi	Nama	Notasi	
PSA	<i>a</i>	<i>Very Low</i>	VL	[0, 4]
		<i>Low</i>	L	[0, 8]
		<i>Middle</i>	M	[4, 12]
		<i>High</i>	H	[8, 16]
		<i>Very High</i>	VH	[12, 50]
Age	<i>b</i>	<i>Very Young</i>	VY	[0, 40]
		<i>Young</i>	Y	[20, 50]
		<i>Middle Age</i>	MA	[35, 65]
		<i>Old</i>	O	[50, 100]
PV	<i>c</i>	<i>Small</i>	S	[3,8, 80]
		<i>Middle</i>	M	[45, 130]
		<i>Big</i>	B	[80, 170]
		<i>Very Big</i>	VB	[130, 310]

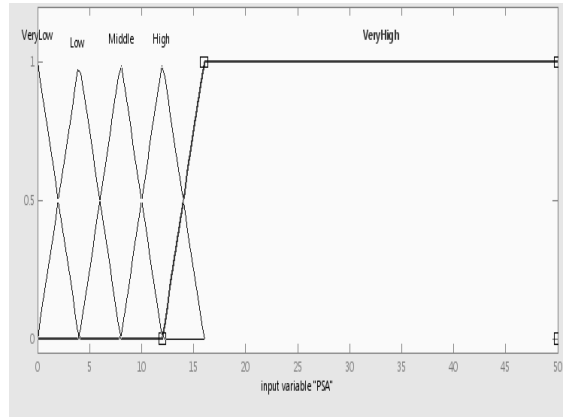
Fungsi keanggotaan yang digunakan pada tiap variabel *fuzzy* ditentukan secara subyektif berdasarkan pandangan para dokter ahli dan literatur yang ada dalam ilmu kedokteran. Pada umumnya derajat keanggotaan untuk setiap himpunan *fuzzy* mempunyai interval antara 0 sampai dengan 1. Nilai 1 menunjukkan keanggotaan mutlak (100%) sedangkan nilai 0 menunjukkan tidak adanya keanggotaan (0%) di dalam himpunan *fuzzy* tersebut.

1. Variabel PSA

Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan variabel PSA pada himpunan *fuzzy* *Very Low*, *Low*, *Middle*, dan *High*, sedangkan fungsi keanggotaan trapesium digunakan pada himpunan *fuzzy* *Very High* (Saritas et al., 2003) seperti terlihat pada Gambar 4.2.

Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* PSA didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_{VL}(a) &= \begin{cases} 0; & a \leq 0 \text{ atau } a \geq 4 \\ (4-a)/4; & 0 < a < 4 \end{cases}, \\
 \mu_L(a) &= \begin{cases} 0; & a \leq 0 \text{ atau } a \geq 8 \\ a/4; & 0 < a \leq 4 \\ (8-a)/4; & 4 \leq a < 8 \end{cases}, \\
 \mu_M(a) &= \begin{cases} 0; & a \leq 4 \text{ atau } a \geq 12 \\ (a-4)/4; & 4 < a \leq 8 \\ (12-a)/4; & 8 \leq a < 12 \end{cases}, \\
 \mu_H(a) &= \begin{cases} 0; & a \leq 8 \text{ atau } a \geq 16 \\ (a-8)/4; & 8 < a \leq 12 \\ (16-a)/4; & 12 \leq a < 16 \end{cases}, \\
 \mu_{VH}(a) &= \begin{cases} 0; & a \leq 12 \\ (a-12)/4; & 12 < a \leq 16. \\ 1; & a \geq 16 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

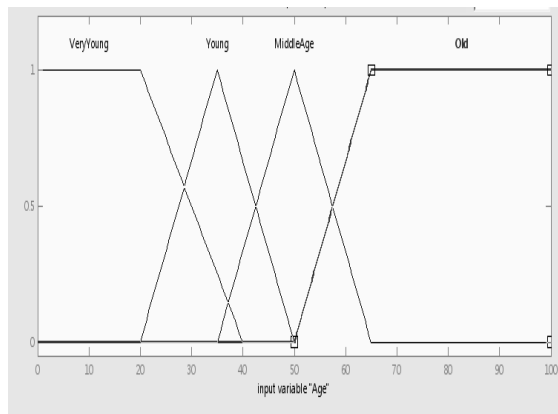


Gambar 4.2 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PSA

2. Variabel *age*

Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan variabel *age* pada himpunan *fuzzy* *Young* dan *Middle Age*, sedangkan fungsi keanggotaan trapesium digunakan pada himpunan *fuzzy* *Very Young* dan *Old* (Saritas et al., 2003) seperti terlihat pada Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* *age* dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\mu_{VY}(b) &= \begin{cases} 0; & b \leq 0 \text{ atau } b \geq 40 \\ 1; & 0 < b \leq 20 \\ (40-b)/20; & 20 \leq b < 40 \end{cases}, \\
\mu_Y(b) &= \begin{cases} 0; & b \leq 20 \text{ atau } b \geq 50 \\ (b-20)/15; & 20 < b \leq 35 \\ (50-b)/15; & 35 \leq b < 50 \end{cases}, \\
\mu_{MA}(b) &= \begin{cases} 0; & b \leq 35 \text{ atau } b \geq 65 \\ (b-35)/15; & 35 < b \leq 50 \\ (65-b)/15; & 50 \leq b < 65 \end{cases}, \\
\mu_O(b) &= \begin{cases} 0; & b \leq 50 \\ (b-50)/15; & 50 < b \leq 65 \\ 1; & b \geq 65 \end{cases}.
\end{aligned} \tag{4.2}$$

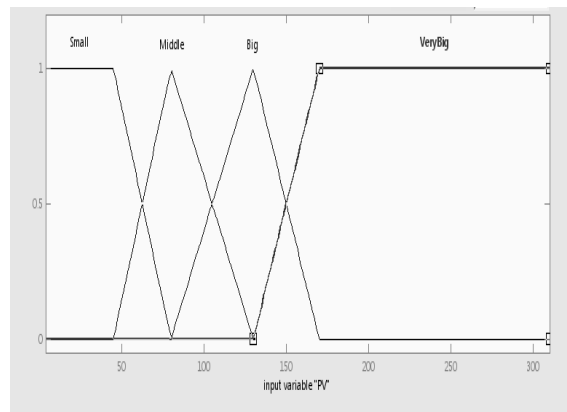


Gambar 4.3 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel *age*

3. Variabel PV

Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan variabel PV pada himpunan *fuzzy Middle* dan *Big*, sedangkan fungsi keanggotaan trapesium digunakan pada himpunan *fuzzy Small* dan *Very Big* (Saritas et al., 2003) seperti terlihat pada Gambar 4.4. Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* PV didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_S(c) &= \begin{cases} 0; & c \leq 3,8 \text{ atau } c \geq 80 \\ 1; & 3,8 < c \leq 45 \\ (80-c)/35; & 45 \leq c < 80 \end{cases}, \\
 \mu_M(c) &= \begin{cases} 0; & c \leq 45 \text{ atau } c \geq 130 \\ (c-45)/35; & 45 < c \leq 80 \\ (130-c)/50; & 80 \leq c < 130 \end{cases}, \\
 \mu_B(c) &= \begin{cases} 0; & c \leq 80 \text{ atau } c \geq 170 \\ (c-80)/50; & 80 < c \leq 130 \\ (170-c)/40; & 130 \leq c < 170 \end{cases}, \\
 \mu_{VB}(c) &= \begin{cases} 0; & c \leq 130 \\ (c-130)/40; & 130 < c \leq 170. \\ 1; & c \geq 170 \end{cases}.
 \end{aligned} \tag{4.3}$$



Gambar 4.4 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PV

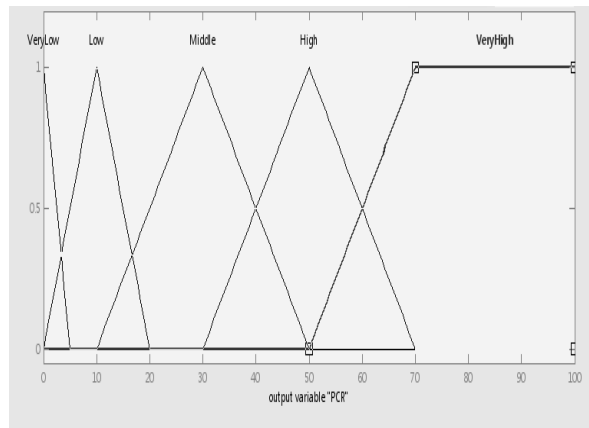
Tabel 4.3 Himpunan output *fuzzy*

Variabel <i>Fuzzy</i>		Himpunan <i>Fuzzy</i>		Domain
Nama	Notasi	Nama	Notasi	
PCR	d	<i>Very Low</i>	VL	[0, 4]
		<i>Low</i>	L	[0, 20]
		<i>Middle</i>	M	[10, 50]
		<i>High</i>	H	[30, 70]
		<i>Very High</i>	VH	[50, 100]

4. Variabel PCR

Fungsi keanggotaan segitiga digunakan untuk merepresentasikan variabel PCR pada himpunan *fuzzy* *Very Low*, *Low*, *Middle*, dan *High*, sedangkan fungsi keanggotaan trapesium digunakan pada himpunan *fuzzy* *Very High* (Saritas et al., 2003) seperti terlihat pada Gambar 4.5. Fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* PCR didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_{VL}(d) &= \begin{cases} 0; & d \leq 0 \text{ atau } d \geq 4 \\ (4-d)/4; & 0 < d < 4 \end{cases}, \\
 \mu_L(d) &= \begin{cases} 0; & d \leq 0 \text{ atau } d \geq 20 \\ d/10; & 0 < d \leq 10 \\ (20-d)/10; & 10 \leq d < 20 \end{cases}, \\
 \mu_M(d) &= \begin{cases} 0; & d \leq 10 \text{ atau } d \geq 50 \\ (d-10)/20; & 10 < d \leq 30 \\ (50-d)/20; & 30 \leq d < 50 \end{cases}, \\
 \mu_H(d) &= \begin{cases} 0; & d \leq 30 \text{ atau } d \geq 70 \\ (d-30)/20; & 30 < d \leq 50 \\ (70-d)/20; & 50 \leq d < 70 \end{cases}, \\
 \mu_{VH}(d) &= \begin{cases} 0; & d \leq 50 \\ (d-50)/20; & 50 < d \leq 70 \\ 1; & d \geq 70 \end{cases}.
 \end{aligned} \tag{4.4}$$



Gambar 4.5 Representasi fungsi keanggotaan untuk variabel PCR

Nilai PCR menunjukkan persentase seorang pasien terkena penyakit kanker prostat. Hal ini tidak berarti bahwa pasien tersebut pasti menderita kanker prostat. Dengan diketahuinya persentase PCR, maka dapat menjadi acuan bagi dokter untuk mengambil keputusan perlu atau tidaknya pasien tersebut melakukan biopsi. Biopsi adalah pengambilan sampel jaringan prostat untuk mendeteksi adanya sel kanker. Biopsi inilah yang akan menentukan apakah pasien menderita kanker prostat atau tidak. Seorang pasien disarankan untuk melakukan biopsi jika $PCR \geq 40\%$. Jika $10\% < PCR < 40\%$, maka masih perlu dipertimbangkan apakah pasien tersebut perlu melakukan biopsi atau tidak, dengan melihat faktor lain dalam diri pasien seperti riwayat keluarga dan pemeriksaan fisik. Untuk $PCR \leq 10\%$, dapat dipastikan bahwa pasien tersebut belum perlu melakukan tindakan biopsi. Bagaimanapun juga pengambilan keputusan perlu atau tidaknya melakukan biopsi sepenuhnya ada di tangan dokter dengan mengambil pertimbangan berdasarkan persentase PCR pasien.

4.1.3 Fuzzy Rules

Kemampuan untuk membuat keputusan dari suatu sistem *fuzzy* tertuang dalam sekumpulan *rules*. Secara umum, *rules* tersebut bersifat intuitif dan berupa pernyataan kualitatif yang ditulis dalam bentuk *if then*, sehingga mudah dimengerti. *Rules* pada sistem *fuzzy* untuk diagnosis kanker prostat diperoleh dari intuisi, pandangan dari para dokter ahli yang bergerak di bidang penyakit dalam khususnya yang menangani kanker prostat dan berdasarkan literatur. Berdasarkan kombinasi variabel input yang ada dapat dibentuk 80 *rules* (lampiran). Sebagai contoh *Rule 1*, *Rule 43*, dan *Rule 77* dapat dituliskan sebagai berikut.

Rule 1 : IF PSA = Very Low AND age = Very Young AND PV = Small
THEN PCR = Very Low

Rule 43 : IF PSA = Very High AND age = Old AND PV = Small
THEN PCR = High

Rule 77 : IF PSA = Very High AND age = Old AND PV = Middle
THEN PCR = Very High

4.1.4 Inferensi Sistem Fuzzy

Operasi himpunan yang digunakan dalam sistem fuzzy untuk diagnosis kanker prostat adalah **AND** dan **OR**.

1. **AND** (metode minimum)

Penggunaan metode minimum pada sistem fuzzy untuk diagnosis kanker prostat dapat didefinisikan sebagai

$$\mu_{\text{PSA} \cap \text{age} \cap \text{PV}} = (\mu_{\text{PSA}} \cap \mu_{\text{age}} \cap \mu_{\text{PV}}) = \min(\mu_{\text{PSA}}, \mu_{\text{age}}, \mu_{\text{PV}}).$$

Metode minimum ini digunakan untuk mengkombinasikan setiap derajat keanggotaan dari setiap *if then rules* yang telah dibuat dan dinyatakan dalam suatu derajat kebenaran (α). Sebagai contoh penggunaan metode minimum untuk *Rule 1*, *Rule 43*, dan *Rule 77* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\alpha_1 = \mu_{\text{VL}}(\text{PSA}) \wedge \mu_{\text{VY}}(\text{age}) \wedge \mu_{\text{S}}(\text{PV}) = \min(\mu_{\text{VL}}(\text{PSA}), \mu_{\text{VY}}(\text{age}), \mu_{\text{S}}(\text{PV}))$$

$$\alpha_{43} = \mu_{\text{VL}}(\text{PSA}) \wedge \mu_{\text{MA}}(\text{age}) \wedge \mu_{\text{B}}(\text{PV}) = \min(\mu_{\text{VL}}(\text{PSA}), \mu_{\text{MA}}(\text{age}), \mu_{\text{B}}(\text{PV}))$$

$$\alpha_{77} = \mu_{\text{VH}}(\text{PSA}) \wedge \mu_{\text{O}}(\text{age}) \wedge \mu_{\text{S}}(\text{PV}) = \min(\mu_{\text{VH}}(\text{PSA}), \mu_{\text{O}}(\text{age}), \mu_{\text{S}}(\text{PV}))$$

2. **OR** (metode maximum)

Metode maximum pada FES untuk diagnosis kanker prostat digunakan untuk mengevaluasi hasil dari *fuzzy rules* yang telah dibuat. Solusi output himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum dari *rule* yang sesuai, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy dan mengaplikasikannya ke output.

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada komposisi *rules* Mamdani pada FES untuk diagnosis kanker prostat adalah **Centroid (Composite Moment)**. Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (d^*) daerah fuzzy. Nilai d^* merupakan output dari FES untuk diagnosis kanker prostat. Secara umum dirumuskan

$$d^* = \frac{\int (\mu(d) \times d) dd}{D},$$

dengan d : nilai PCR,

d^* : titik pusat daerah *fuzzy* PCR,

$\mu(d)$: fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* PCR,

D : luas daerah *fuzzy* PCR.

4.2 Contoh Kasus

Pada subbab ini diberikan 3 contoh kasus dengan nilai variabel input yang berbeda. Contoh kasus pada skripsi ini diambil dari Saritas *et al.* (2003).

4.2.1 Contoh 1

Seorang pasien yang berumur 45 tahun mempunyai kadar PSA = 3 ng/ml dengan PV = 90 ml, maka persentase orang tersebut terkena resiko kanker prostat dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut. Langkah pertama adalah mencari derajat keanggotaan dari setiap variabel *fuzzy*.

- Variabel PSA

Dari persamaan (4.1), jika nilai PSA = 3 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy* Very Low

$$\mu_{VL}(3) = \frac{(4-3)}{4} = \frac{1}{4} = 0,25$$

– himpunan *fuzzy* Low

$$\mu_L(3) = \frac{3}{4} = 0,75$$

- Variabel *age*

Dari persamaan (4.2), jika nilai *age* = 45 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy Young*

$$\mu_Y(45) = \frac{(50-45)}{15} = \frac{5}{15} = 0,33$$

– himpunan *fuzzy Middle Age*

$$\mu_{MA}(45) = \frac{(45-35)}{15} = \frac{10}{15} = 0,67$$

▪ Variabel PV

Dari persamaan (4.3), jika nilai PV = 90 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy Middle*

$$\mu_M(90) = \frac{(130-90)}{50} = \frac{40}{50} = 0,8$$

– himpunan *fuzzy Big*

$$\mu_B(90) = \frac{(90-80)}{50} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Selanjutnya dicari nilai d untuk setiap *rule* dengan menggunakan fungsi **Min** pada aplikasi fungsi implikasinya.

[R₂₂] *IF* PSA = *Very Low* **AND** age = *Young* **AND** PV = *Middle* **THEN**

PCR = *Very Low*

$$\alpha_{22} = \mu_{VL}[PSA] \wedge \mu_Y[age] \wedge \mu_M[PV]$$

$$= \min(\mu_{VL}[3], \mu_Y[45], \mu_M[90])$$

$$= \min(0,25, 0,33, 0,8)$$

$$= 0,25$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{22} = 0,25$ dapat diperoleh nilai $d[22]$ sebagai berikut.

$$\mu_{VL}(d_{22}) \rightarrow \frac{(4-d[22])}{4} = 0,25$$

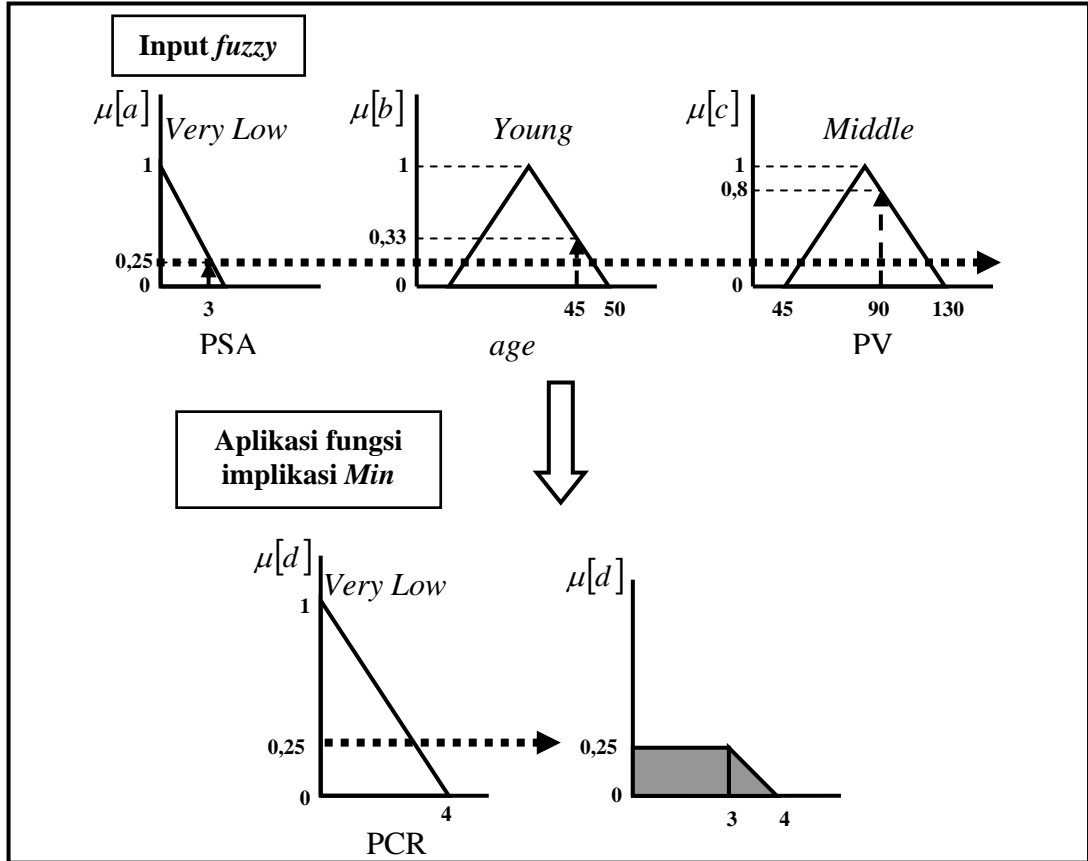
$$d[22] = 4 - (0,25 \times 4)$$

$$d[22] = 3$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{22}) = \begin{cases} 0; & d_{22} \leq 0 \text{ atau } d_{22} \geq 4 \\ 0,25; & 0 < d_{22} \leq 3 \\ (4 - d_{22})/4; & 3 \leq d_{22} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{22} ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{22} pada contoh 1

[R₂₃] *IF* PSA = *Very Low* **AND** age = *Young* **AND** PV = *Big* **THEN**
PCR = *Very Low*

$$\begin{aligned} \alpha_{23} &= \mu_{VL}[PSA] \wedge \mu_Y[age] \wedge \mu_B[PV] \\ &= \min(\mu_{VL}[3], \mu_Y[45], \mu_B[90]) \\ &= \min(0,25, 0,33, 0,2) \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

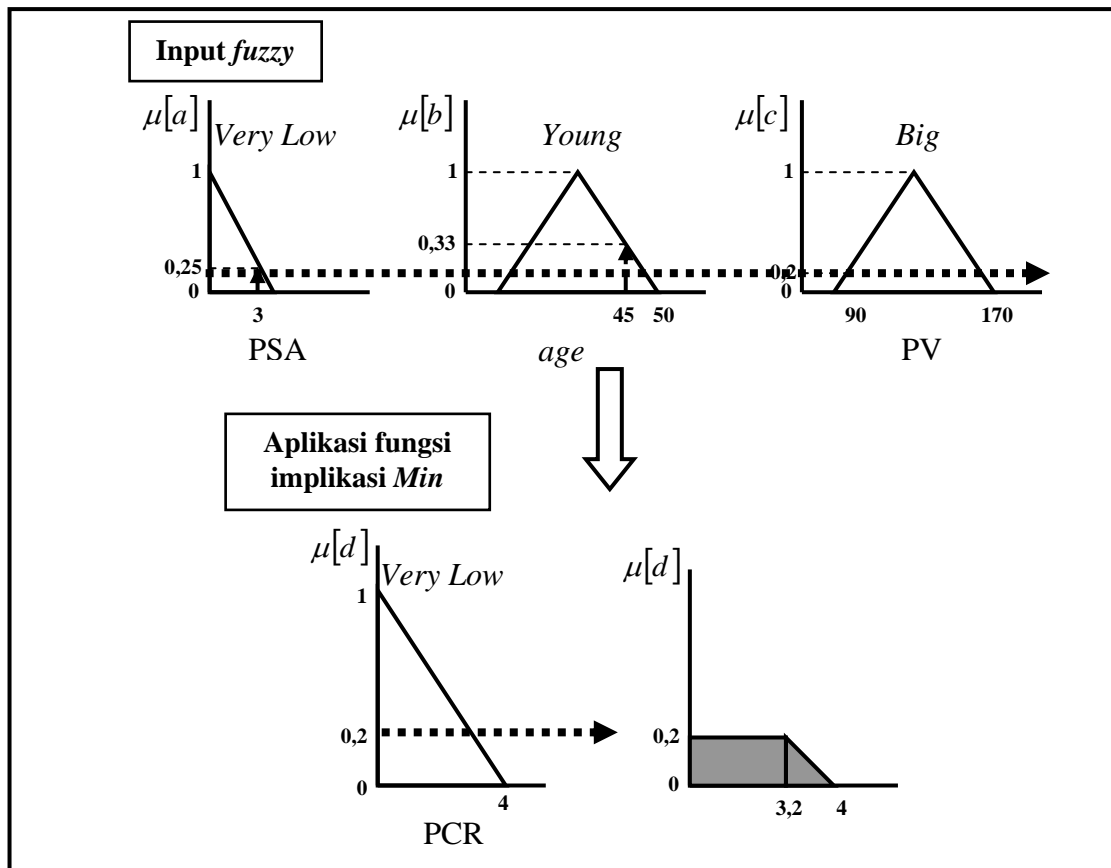
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{23} = 0,2$ dapat diperoleh nilai $d[23]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_{VL}(d_{23}) &\rightarrow \frac{(4 - d[23])}{4} = 0,2 \\
 d[23] &= 4 - (0,2 \times 4) \\
 d[23] &= 3,2
 \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{23}) = \begin{cases} 0; & d_{23} \leq 0 \text{ atau } d_{23} \geq 4 \\ 0,2; & 0 < d_{23} \leq 3,2 \\ (4 - d_{23})/4; & 3,2 \leq d_{23} < 4 \end{cases}$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{23} ditunjukkan oleh Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{23} pada contoh 1

[R_{26}] IF PSA = Low AND age = Young AND PV = Middle THEN
PCR = Very Low

$$\begin{aligned}
 \alpha_{26} &= \mu_L[\text{PSA}] \wedge \mu_Y[\text{age}] \wedge \mu_M[\text{PV}] \\
 &= \min(\mu_L[3], \mu_Y[45], \mu_M[90])
 \end{aligned}$$

$$= \min(0,75, 0,33, 0,8)$$

$$= 0,33$$

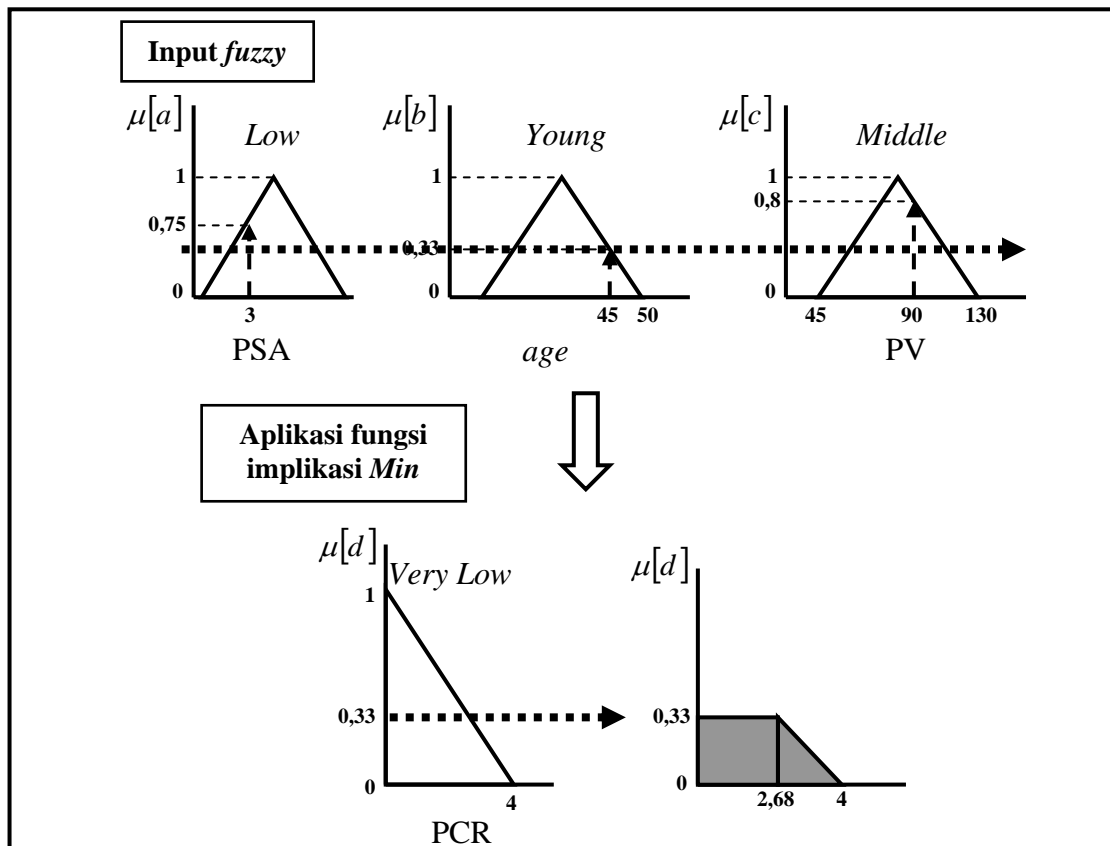
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{26} = 0,33$ dapat diperoleh nilai $d[26]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{VL}(d_{26}) \rightarrow \frac{(4 - d[26])}{4} &= 0,33 \\ d[26] &= 4 - (0,33 \times 4) \\ d[26] &= 2,68 \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{26}) = \begin{cases} 0; & d_{26} \leq 0 \text{ atau } d_{26} \geq 4 \\ 0,33; & 0 < d_{26} \leq 2,68 \\ (4 - d_{26})/4; & 2,68 \leq d_{26} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{26} ditunjukkan oleh Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{26} pada contoh 1

[R₂₇] *IF* PSA = *Low* **AND** age = *Young* **AND** PV = *Big* **THEN**

PCR = *Very Low*

$$\begin{aligned}\alpha_{27} &= \mu_L[\text{PSA}] \wedge \mu_Y[\text{age}] \wedge \mu_B[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_L[3], \mu_Y[45], \mu_B[90]) \\ &= \min(0,75, 0,33, 0,2) \\ &= 0,2\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{27} = 0,2$ dapat diperoleh nilai $d[27]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{VL}(d_{27}) &\rightarrow \frac{(4 - d[27])}{4} = 0,2 \\ d[27] &= 4 - (0,2 \times 4) \\ d[27] &= 3,2\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{27}) = \begin{cases} 0; & d_{27} \leq 0 \text{ atau } d_{27} \geq 4 \\ 0,2; & 0 < d_{27} \leq 3,2 \\ (4 - d_{27})/4; & 3,2 \leq d_{27} < 4 \end{cases}.$$

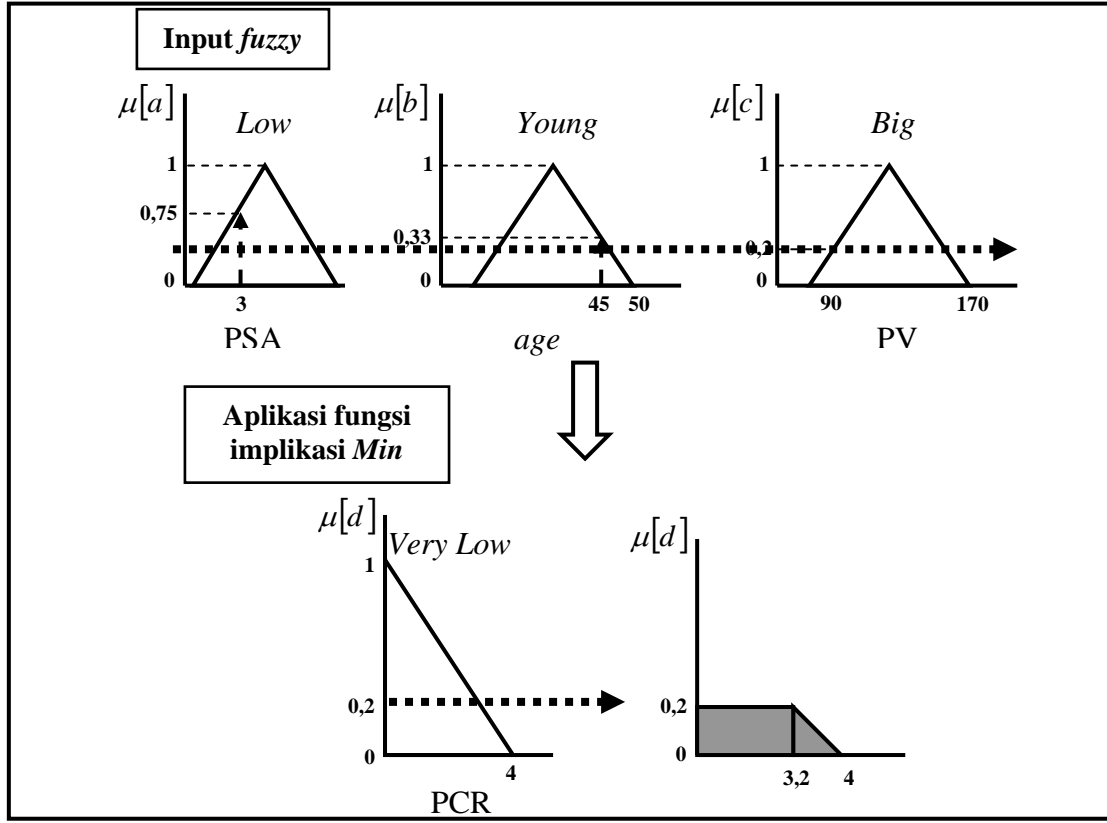
Aplikasi fungsi implikasi untuk R₂₇ ditunjukkan oleh Gambar 4.9.

[R₄₂] *IF* PSA = *Very Low* **AND** age = *Middle Age* **AND** PV = *Middle* **THEN** PCR = *Very Low*

$$\begin{aligned}\alpha_{42} &= \mu_{VL}[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_M[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_{VL}[3], \mu_{MA}[45], \mu_M[90]) \\ &= \min(0,25, 0,67, 0,8) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{42} = 0,25$ dapat diperoleh nilai $d[42]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{VL}(d_{42}) &\rightarrow \frac{(4 - d[42])}{4} = 0,25 \\ d[42] &= 4 - (0,25 \times 4) \\ d[42] &= 3\end{aligned}$$



Gambar 4.9 Aplikasi fungsi implikasi untuk R₂₇ pada contoh 1

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{42}) = \begin{cases} 0; & d_{42} \leq 0 \text{ atau } d_{42} \geq 4 \\ 0,25; & 0 < d_{42} \leq 3 \\ (4 - d_{42})/4; & 3 \leq d_{42} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R₄₂ ditunjukkan oleh Gambar 4.10.

[R₄₃] *IF* PSA = *Very Low* **AND** age = *Middle Age* **AND** PV = *Big* **THEN**

PCR = *Very Low*

$$\alpha_{43} = \mu_{VL}[PSA] \wedge \mu_{MA}[age] \wedge \mu_B[PV]$$

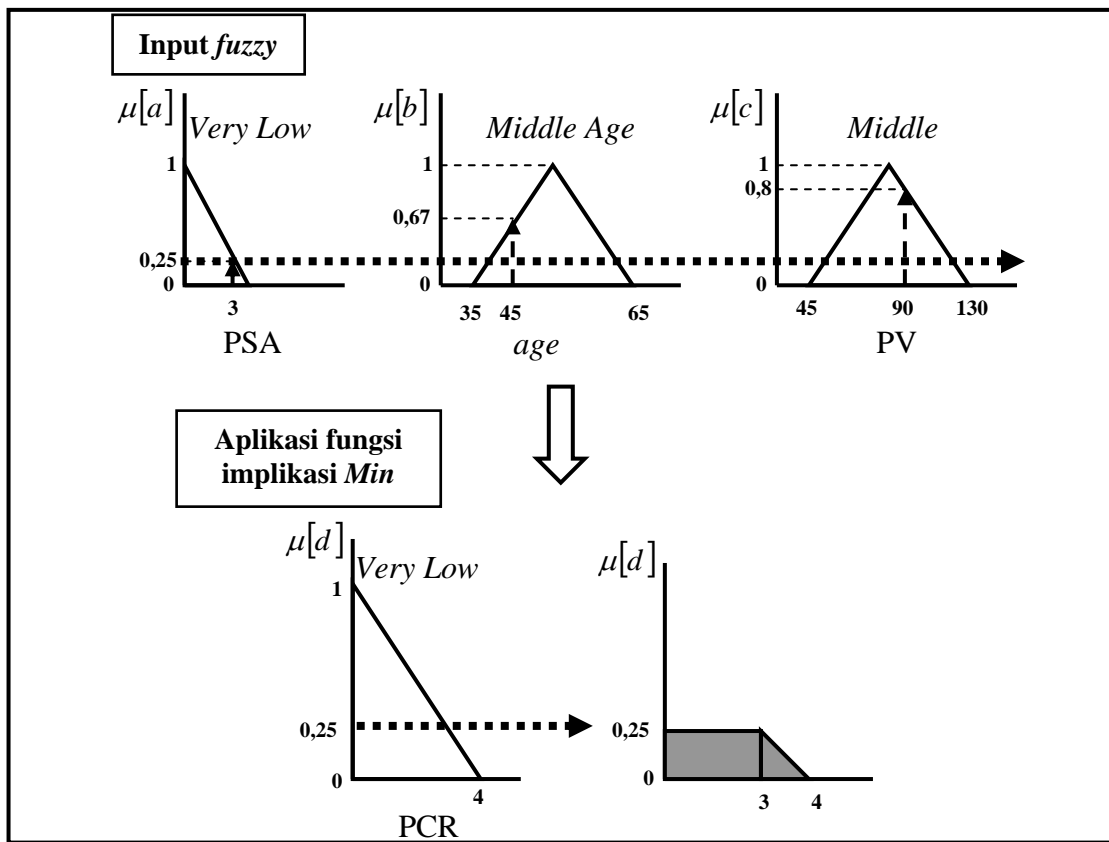
$$= \min(\mu_{VL}[3], \mu_{MA}[45], \mu_B[90])$$

$$= \min(0,25, 0,67, 0,2)$$

$$= 0,2$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy PCR (4.4), maka pada saat

$\alpha_{43} = 0,2$ dapat diperoleh nilai $d[43]$ sebagai berikut.



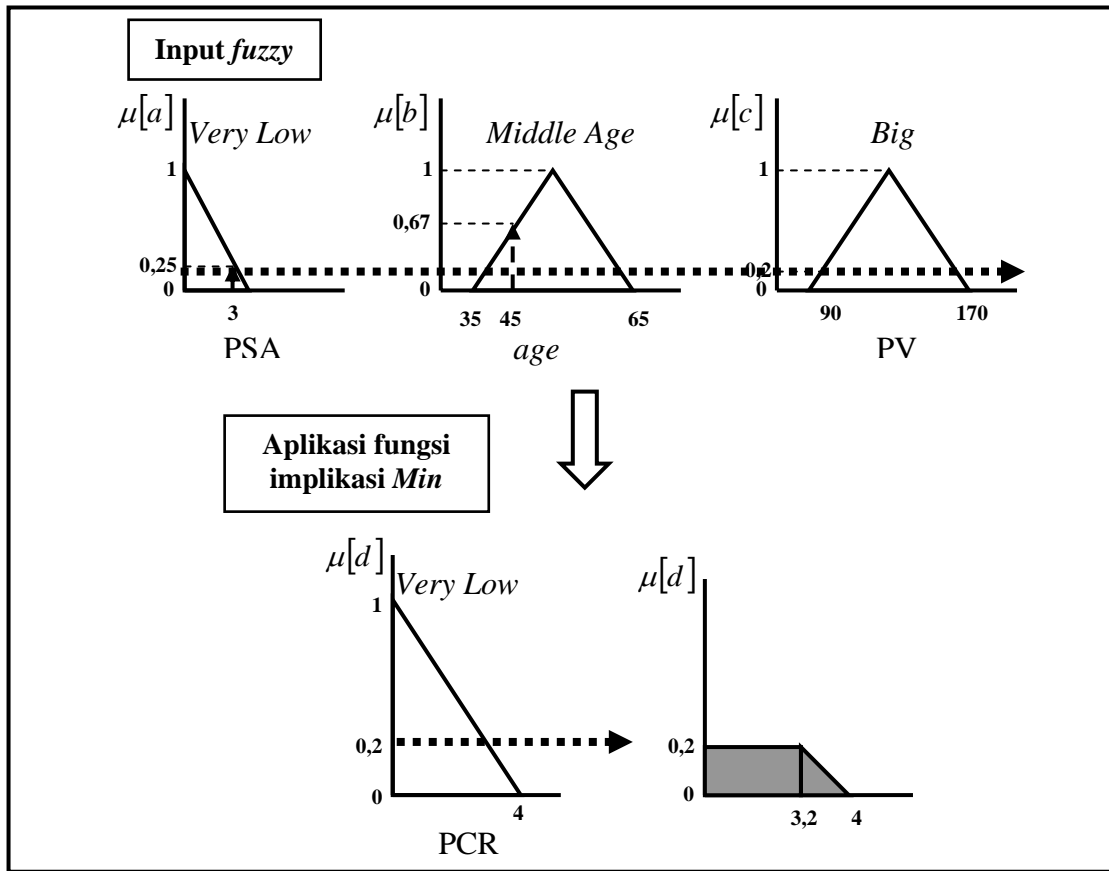
Gambar 4.10 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{42} pada contoh 1

$$\begin{aligned}\mu_{VL}(d_{43}) &\rightarrow \frac{(4 - d[43])}{4} = 0,2 \\ d[43] &= 4 - (0,2 \times 4) \\ d[43] &= 3,2\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{43}) = \begin{cases} 0; & d_{43} \leq 0 \text{ atau } d_{43} \geq 4 \\ 0,2; & 0 < d_{43} \leq 3,2 \\ (4 - d_{43})/4; & 3,2 \leq d_{43} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{43} ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{43} pada contoh 1

[R₄₆] IF PSA = Low AND age = Middle Age AND PV = Middle THEN
PCR = Very Low

$$\begin{aligned}
 \alpha_{46} &= \mu_L[PSA] \wedge \mu_{MA}[age] \wedge \mu_M[PV] \\
 &= \min(\mu_L[3], \mu_{MA}[45], \mu_M[90]) \\
 &= \min(0,75, 0,67, 0,8) \\
 &= 0,67
 \end{aligned}$$

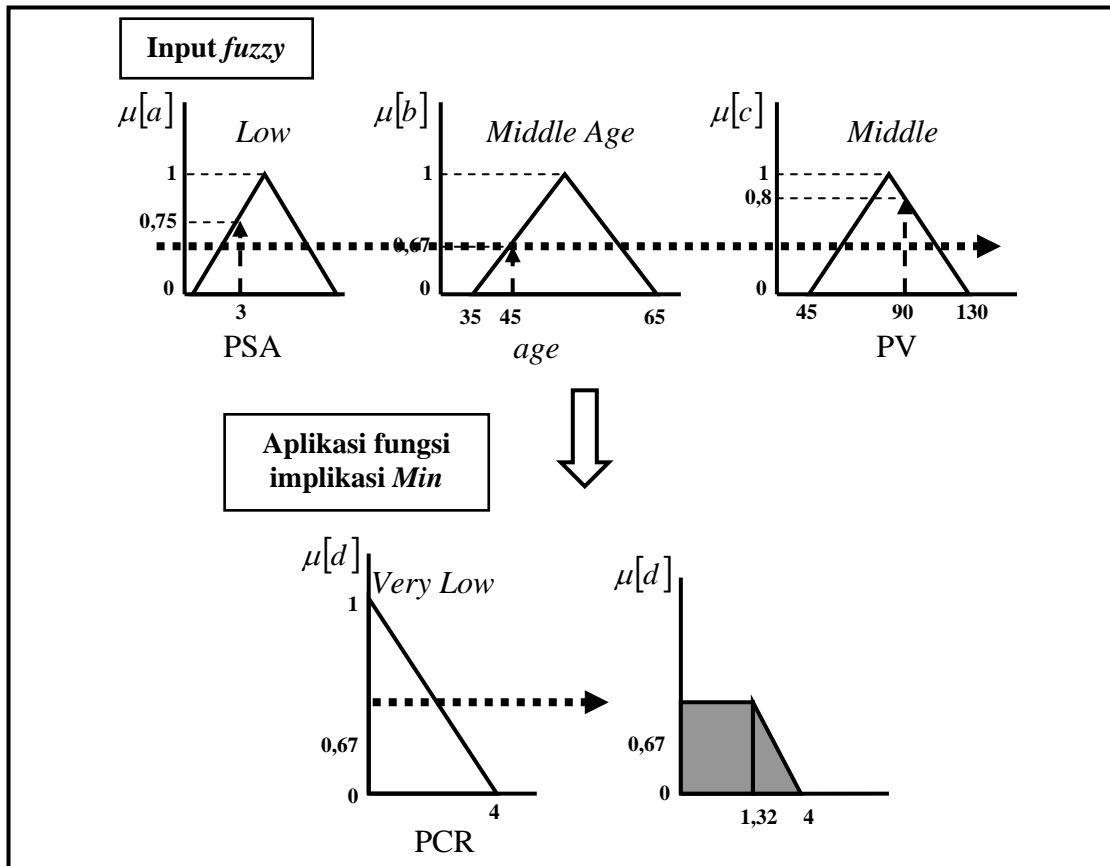
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{46} = 0,67$ dapat diperoleh nilai $d[46]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_{VL}(d_{46}) &\rightarrow \frac{(4 - d[46])}{4} = 0,67 \\
 d[46] &= 4 - (0,67 \times 4) \\
 d[46] &= 1,32
 \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{46}) = \begin{cases} 0; & d_{46} \leq 0 \text{ atau } d_{46} \geq 4 \\ 0,67; & 0 < d_{46} \leq 1,32 \\ (4 - d_{46})/4; & 1,32 \leq d_{46} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{46} ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{46} pada contoh 1

[R₄₇] IF PSA = Low AND age = Middle Age AND PV = Big THEN
PCR = Very Low

$$\begin{aligned} \alpha_{47} &= \mu_L[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_B[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_L[3], \mu_{MA}[45], \mu_B[90]) \\ &= \min(0,75, 0,67, 0,2) \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

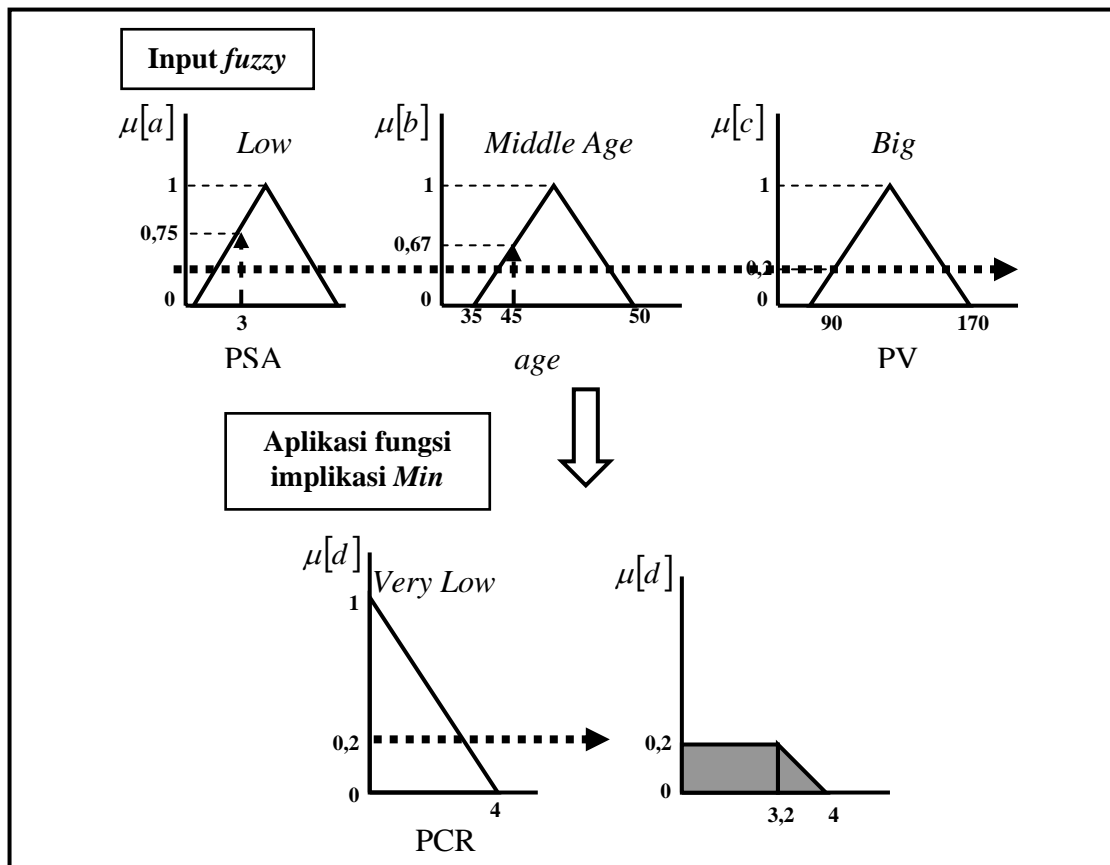
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{47} = 0,2$ dapat diperoleh nilai $d[47]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{VL}(d_{47}) &\rightarrow \frac{(4 - d[47])}{4} = 0,2 \\ d[47] &= 4 - (0,2 \times 4) \\ d[47] &= 3,2\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very Low* adalah

$$\mu_{VL}(d_{47}) = \begin{cases} 0; & d_{47} \leq 0 \text{ atau } d_{47} \geq 4 \\ 0,2; & 0 < d_{47} \leq 3,2 \\ (4 - d_{47})/4; & 3,2 \leq d_{47} < 4 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{47} ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



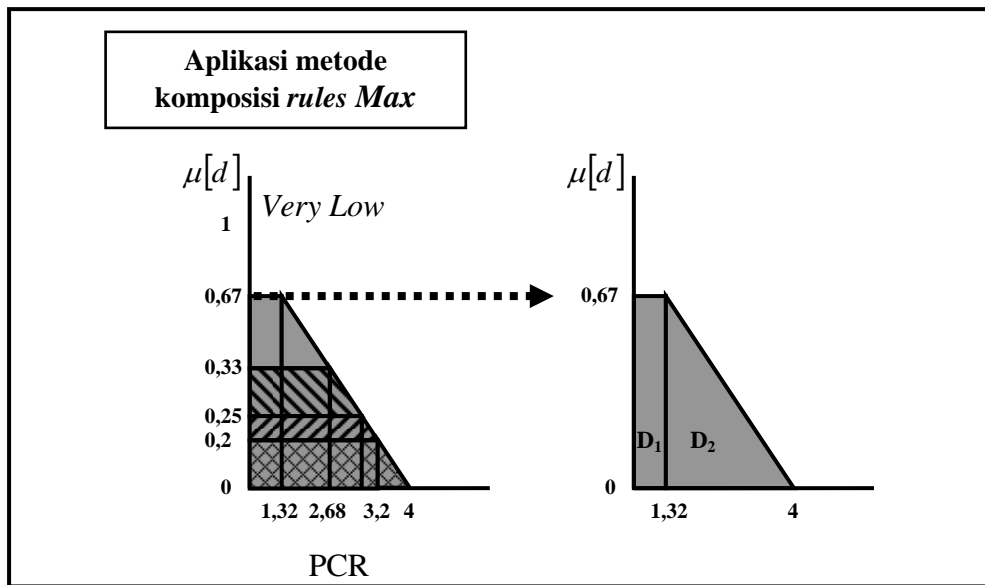
Gambar 4.13 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{47} pada contoh 1

Komposisi *fuzzy rules* dilakukan dengan menggunakan metode **Max**. Dari inferensi metode Mamdani **Max-Min** didapatkan derajat keanggotaan untuk kasus ini sebagai

$$\max(\alpha_{22}, \alpha_{23}, \alpha_{26}, \alpha_{27}, \alpha_{42}, \alpha_{43}, \alpha_{46}, \alpha_{47}) = \max(0,25, 0,2, 0,33, 0,2, 0,25, 0,2, 0,67, 0,2) \\ = 0,67.$$

Daerah hasil aplikasi komposisi *rules Max* terlihat pada Gambar 4.14 dan fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi ini adalah

$$\mu(d) = \begin{cases} 0; & d \leq 0 \text{ atau } d \geq 4 \\ 0,67; & 0 < d \leq 1,32 \\ (4-d)/4; & 1,32 \leq d < 4 \end{cases}.$$



Gambar 4.14 Daerah hasil komposisi *rules* pada contoh 1

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *Centroid*. Untuk itu, pertama-tama dihitung momen untuk daerah D_1 dan D_2 .

$$\begin{aligned} M_1 &= \int_0^{1,32} (0,67)d \, dd \\ &= 0,335 d^2 \Big|_0^{1,32} \\ &= 0,58 \\ M_2 &= \int_{1,32}^4 \left(\frac{(4-d)}{4} \right) d \, dd \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \int_{1,32}^4 \left(\frac{4}{4}d - \left(\frac{d^2}{4} \right) \right) dd \\
&= \int_{1,32}^4 (d - 0,25d^2) dd \\
&= 0,5 d^2 - 0,08 d^3 \Big|_{1,32}^4 \\
&= 1,99
\end{aligned}$$

Kemudian dihitung luas daerahnya

$$\begin{aligned}
D_1 &= (1,32 - 0) \times (0,67) &= 0,8844 \\
D_2 &= \frac{(0,67) \times (4 - 1,32)}{2} &= 0,8978
\end{aligned}$$

Titik pusat diperoleh dari:

$$\begin{aligned}
d^* &= \frac{0,58 + 1,99}{0,8844 + 0,8978} \\
&= 1,529411 \\
&\approx 1,53
\end{aligned}$$

Dapat dilihat juga hasil dari perhitungan dengan *Matlab* yang menunjukkan nilai PCR = 1,53 (lampiran). Hal ini menunjukkan bahwa persentase pasien terkena resiko kanker prostat adalah sebesar 1,53 %. Dikarenakan rendahnya persentase ini sehingga dapat disarankan bahwa pasien tersebut tidak perlu melakukan biopsi.

4.2.2 Contoh 2

Seorang pasien yang berumur 55 tahun mempunyai kadar PSA = 12 ng/ml dengan PV = 200 ml, maka persentase orang tersebut terkena resiko kanker prostat dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut. Langkah pertama adalah mencari derajat keanggotaan dari setiap variabel *fuzzy*.

- Variabel PSA

Dari persamaan (4.1), jika nilai PSA = 12 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy Middle*

$$\mu_M(12) = 0$$

– himpunan *fuzzy High*

$$\mu_H(12) = \frac{(12-8)}{4} = \frac{4}{4} = 1 \quad \text{atau} \quad \mu_H(12) = \frac{(16-12)}{4} = \frac{4}{4} = 1$$

– himpunan *fuzzy Very High*

$$\mu_{VH}(12) = 0$$

- Variabel *age*

Dari persamaan (4.2), jika nilai *age* = 55 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy Middle Age*

$$\mu_{MA}(55) = \frac{(65-55)}{15} = \frac{10}{15} = 0,67$$

– himpunan *fuzzy Old*

$$\mu_O(55) = \frac{(55-50)}{15} = \frac{5}{15} = 0,33$$

- Variabel PV

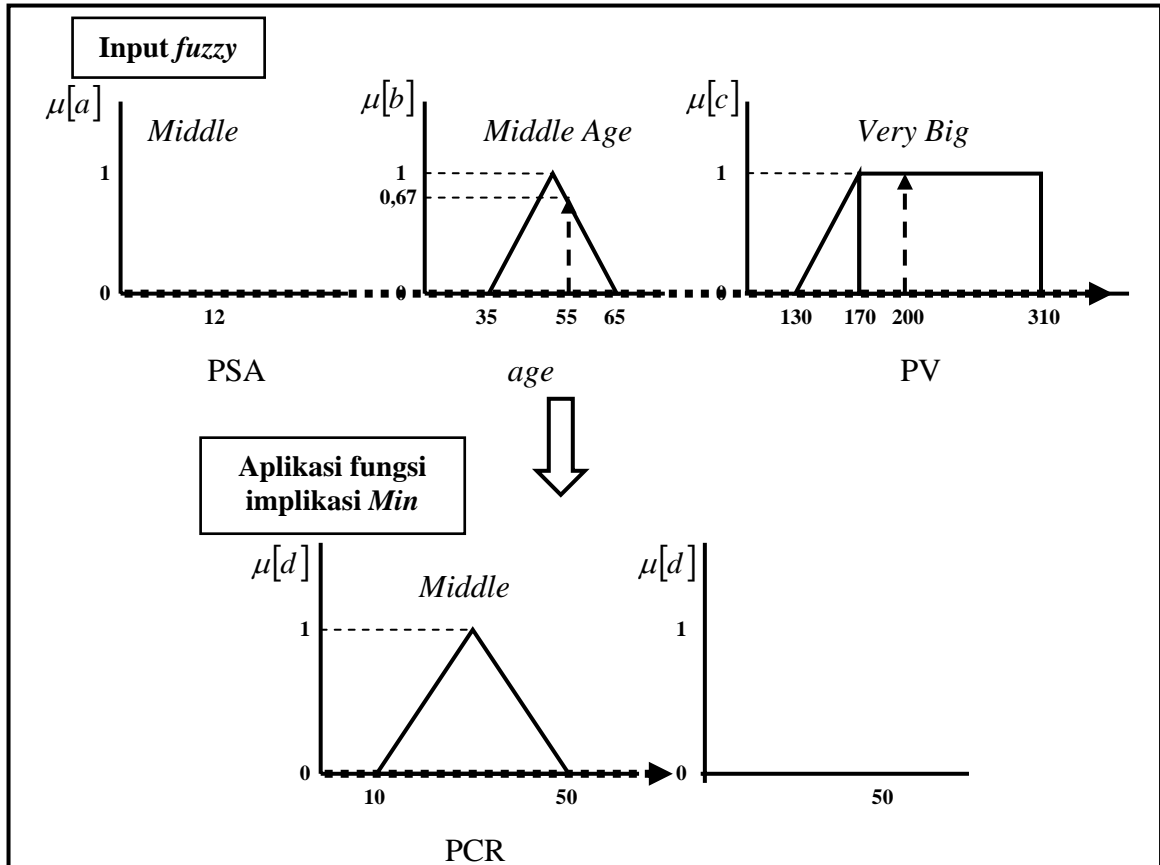
Dari persamaan (4.3), jika nilai PV = 200 maka derajat keanggotaan *fuzzy* terletak pada himpunan *fuzzy Very Big*, $\mu_{VB}(200) = 1$.

Selanjutnya dicari nilai *d* untuk setiap *rule* dengan menggunakan fungsi **Min** pada aplikasi fungsi implikasinya.

**[R₅₂] IF PSA = Middle AND age = Middle Age AND PV = Very Big
THEN PCR = Middle**

$$\begin{aligned} \alpha_{52} &= \mu_M[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_M[12], \mu_{MA}[55], \mu_{VB}[200]) \\ &= \min(0, 0,67, 1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{52} = 0$ diperoleh nilai $\mu_M(d_{52}) = 0$. Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{52} ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{52} pada contoh 2

[R₅₆] *IF* PSA = High *AND* age = Middle Age *AND* PV = Very Big *THEN*
PCR = High

$$\begin{aligned}
 \alpha_{56} &= \mu_H[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\
 &= \min(\mu_H[12], \mu_{MA}[55], \mu_{VB}[200]) \\
 &= \min(1, 0.67, 1) \\
 &= 0.67
 \end{aligned}$$

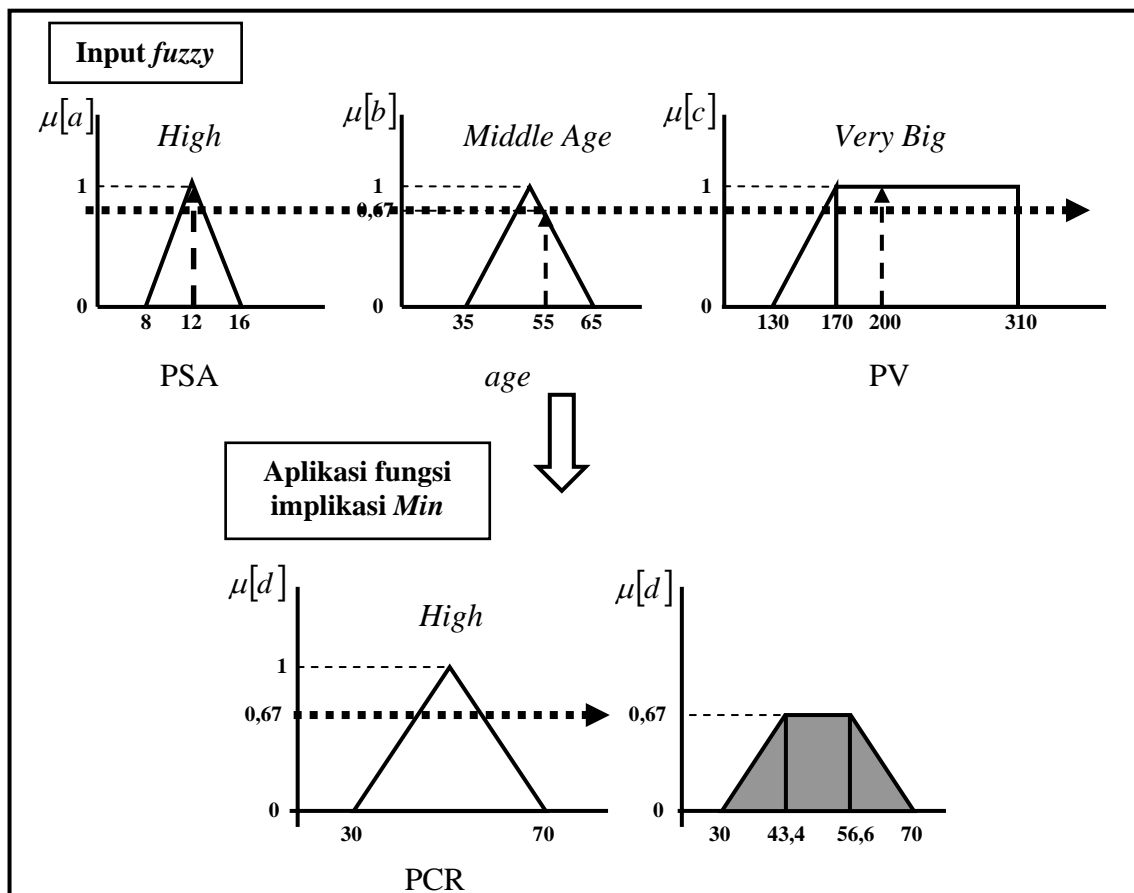
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{56} = 0.67$ dapat diperoleh nilai $d[56]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_H(d_{56}) &\rightarrow \frac{(d[56]-30)}{20} = 0,67 \\
 d[56] &= 30 + (0,67 \times 20) \\
 d[56] &= 43,4 \\
 \text{atau } \mu_H(d_{56}) &\rightarrow \frac{(70-d[56])}{20} = 0,67 \\
 d[56] &= 70 - (0,67 \times 20) \\
 d[56] &= 56,6
 \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *High* adalah

$$\mu_H(d_{56}) = \begin{cases} 0; & d_{56} \leq 30 \text{ atau } d_{56} \geq 70 \\ (d_{56}-30)/20; & 30 < d_{56} \leq 43,4 \\ 0,67; & 43,4 \leq d_{56} \leq 56,6 \\ (70-d_{56})/20; & 56,6 \leq d_{56} < 70 \end{cases}$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{56} ditunjukkan oleh Gambar 4.16.

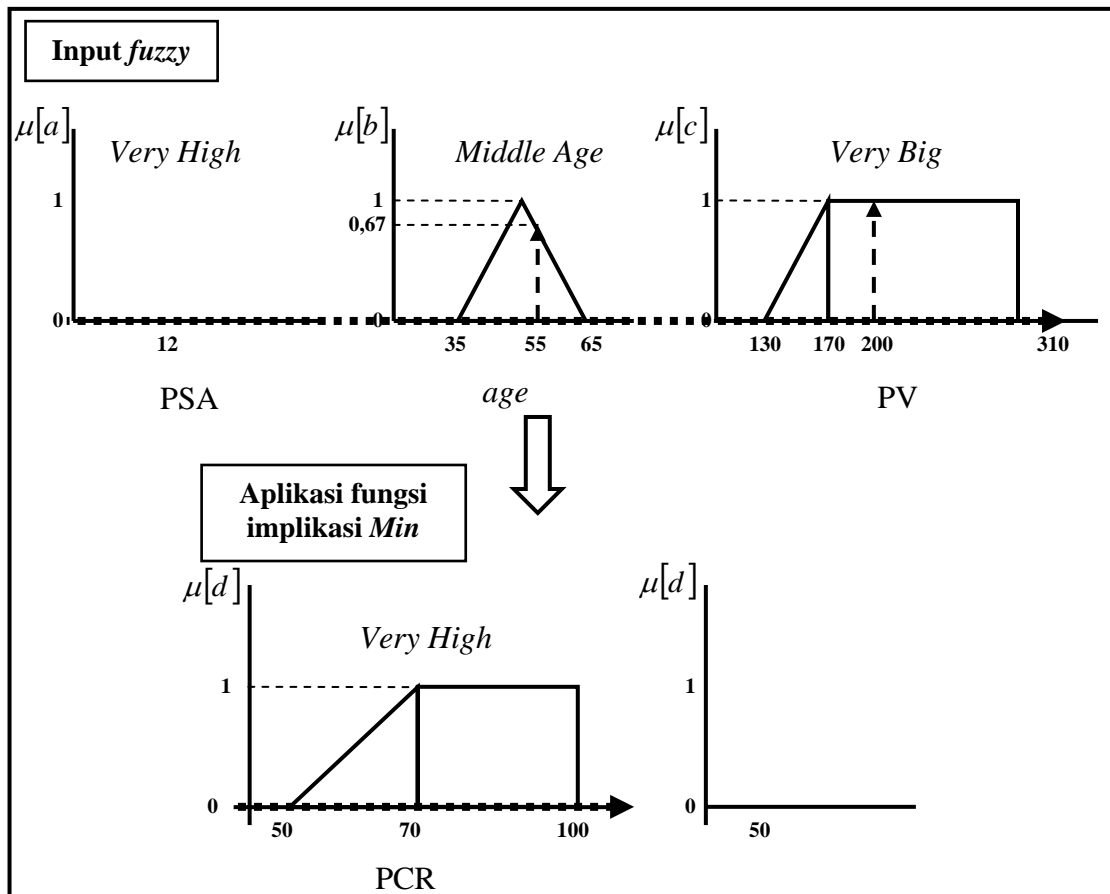


Gambar 4.16 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{56} pada contoh 2

[R₆₀] *IF* PSA = *Very High* *AND* age = *Middle Age* *AND* PV = *Very Big*
THEN PCR = *Very High*

$$\begin{aligned}\alpha_{60} &= \mu_{\text{VH}}[\text{PSA}] \wedge \mu_{\text{MA}}[\text{age}] \wedge \mu_{\text{VB}}[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_{\text{VH}}[12], \mu_{\text{MA}}[55], \mu_{\text{VB}}[200]) \\ &= \min(0, 0,67, 1) \\ &= 0\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{60}=0$ diperoleh nilai $\mu_{\text{VH}}(d_{60})=0$. Aplikasi fungsi implikasi untuk R₆₀ ditunjukkan oleh Gambar 4.17.



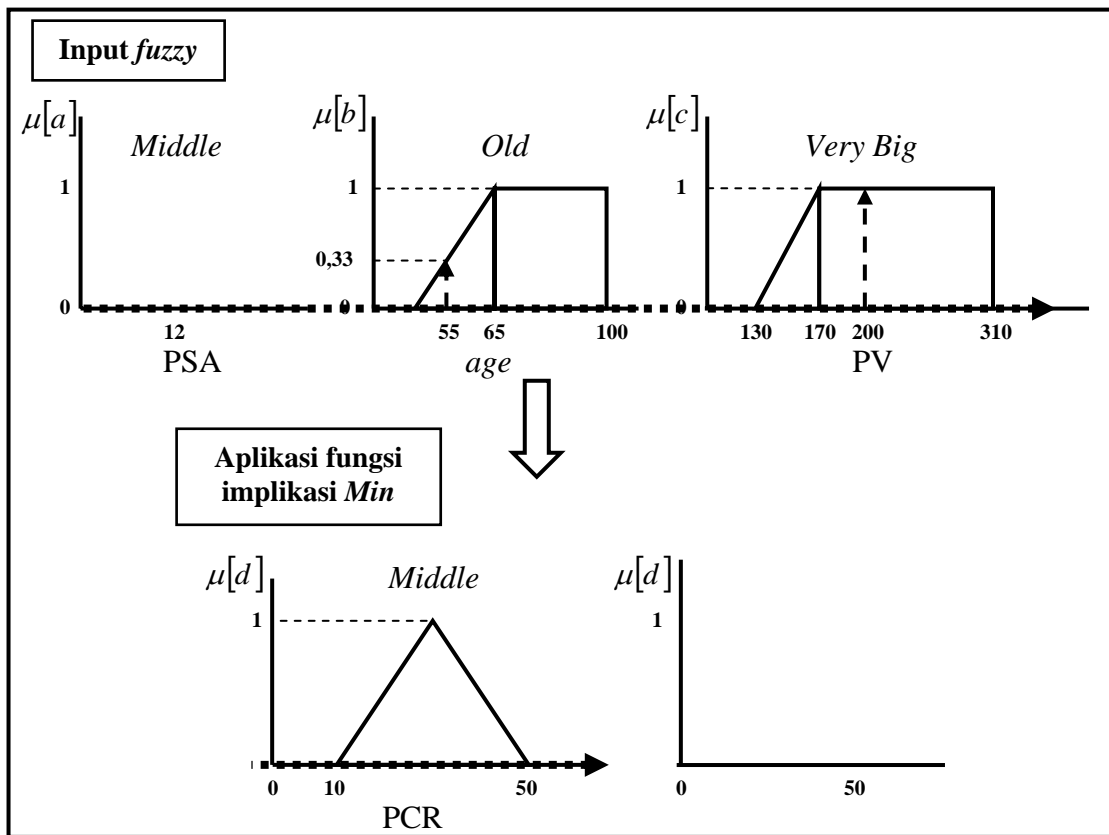
Gambar 4.17 Aplikasi fungsi implikasi untuk R₆₀ pada contoh 2

[R₇₂] *IF* PSA = *Middle* *AND* age = *Old* *AND* PV = *Very Big* **THEN**
 PCR = *Middle*

$$\alpha_{72} = \mu_{\text{M}}[\text{PSA}] \wedge \mu_{\text{O}}[\text{age}] \wedge \mu_{\text{VB}}[\text{PV}]$$

$$\begin{aligned}
&= \min(\mu_M[12], \mu_O[55], \mu_{VB}[200]) \\
&= \min(0, 0,33, 1) \\
&= 0
\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{72}=0$ diperoleh nilai $\mu_M(d_{72})=0$. Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{72} ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{72} pada contoh 2

[R₇₆] IF PSA = High AND age = Old AND PV = Very Big THEN
PCR = High

$$\begin{aligned}
\alpha_{76} &= \mu_H[\text{PSA}] \wedge \mu_O[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\
&= \min(\mu_H[12], \mu_O[55], \mu_{VB}[200]) \\
&= \min(1, 0,33, 1) \\
&= 0,33
\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{76} = 0,33$ dapat diperoleh nilai $d[76]$ sebagai berikut.

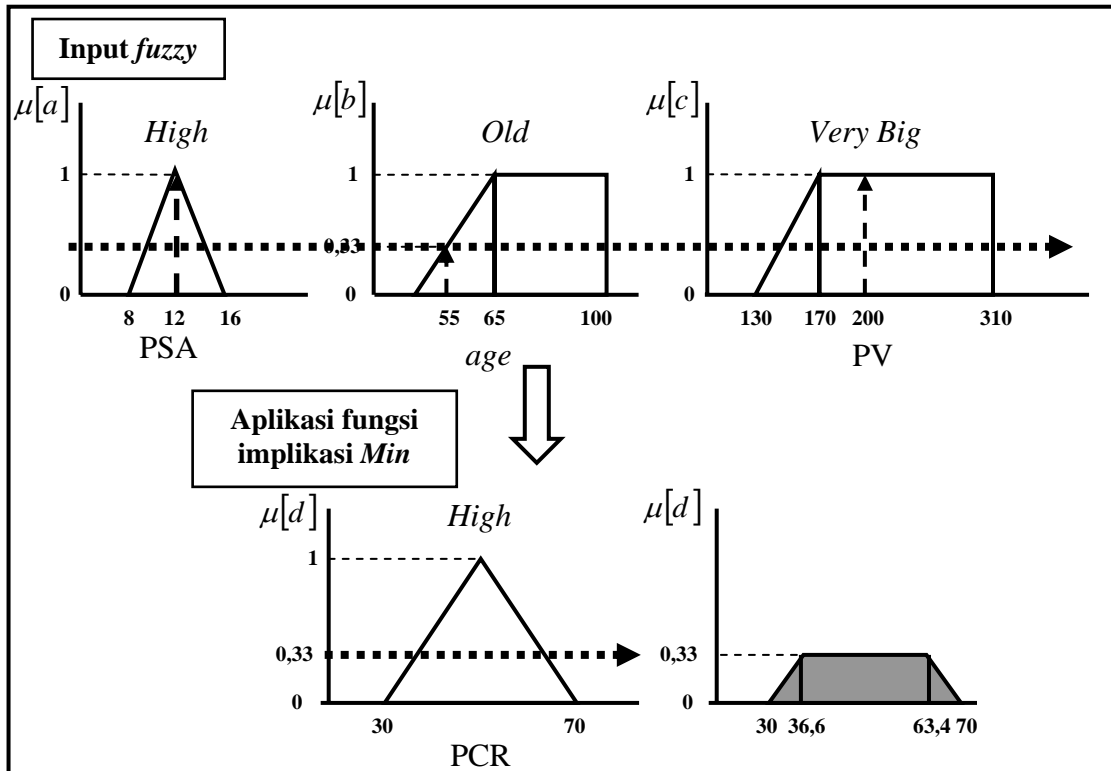
$$\begin{aligned}\mu_H(d_{76}) &\rightarrow \frac{(d[76]-30)}{20} = 0,33 \\ d[76] &= 30 + (0,33 \times 20) \\ d[76] &= 36,6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{atau } \mu_H(d_{76}) &\rightarrow \frac{(70-d[76])}{20} = 0,33 \\ d[76] &= 70 - (0,33 \times 20) \\ d[76] &= 63,4\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *High* adalah

$$\mu_H(d_{76}) = \begin{cases} 0; & d_{76} \leq 30 \text{ atau } d_{76} \geq 70 \\ (d_{76} - 30)/20; & 30 < d_{76} \leq 36,6 \\ 0,33; & 36,6 \leq d_{76} \leq 63,4 \\ (70 - d_{76})/20; & 63,4 \leq d_{76} < 70 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} ditunjukkan oleh Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} pada contoh 2

[R₈₀] *IF* PSA = *Very High* **AND** age = *Old* **AND** PV = *Very Big* **THEN**

PCR = *Very High*

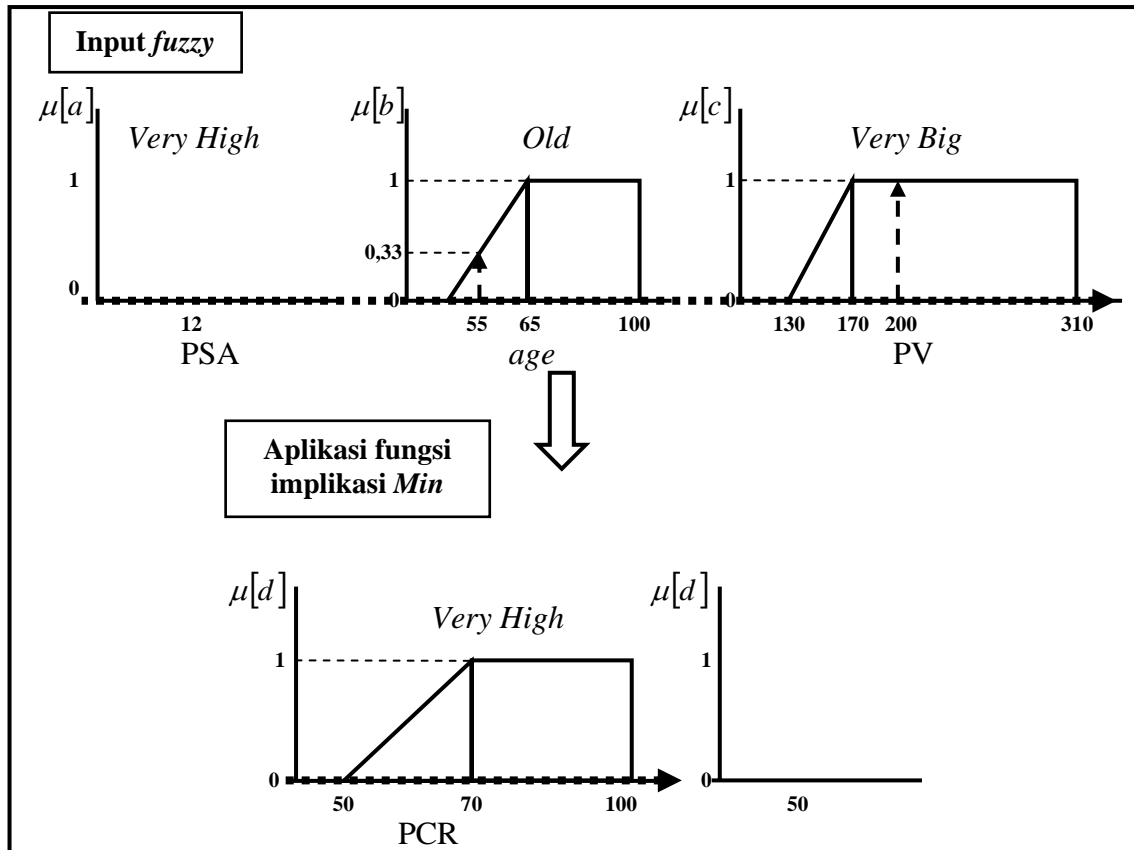
$$\alpha_{80} = \mu_{\text{VH}}[\text{PSA}] \wedge \mu_{\text{O}}[\text{age}] \wedge \mu_{\text{VB}}[\text{PV}]$$

$$= \min(\mu_{\text{VH}}[12], \mu_{\text{O}}[55], \mu_{\text{VB}}[200])$$

$$= \min(0, 0,33, 1)$$

$$= 0$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{80}=0$ diperoleh nilai $\mu_{\text{VH}}(d_{80})=0$. Aplikasi fungsi implikasi untuk R₈₀ ditunjukkan oleh Gambar 4.20.



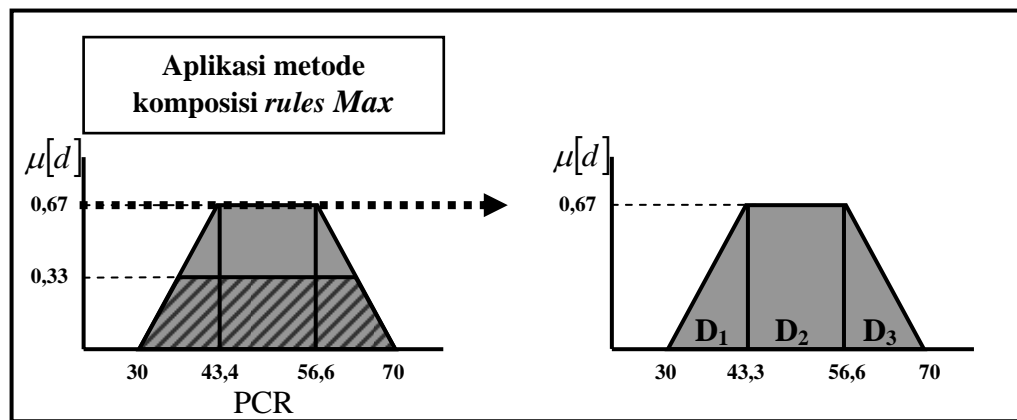
Gambar 4.20 Aplikasi fungsi implikasi untuk R₈₀ pada contoh 2

Komposisi *fuzzy rules* dilakukan dengan menggunakan metode **Max**. Dari inferensi metode Mamdani **Max-Min** didapatkan derajat keanggotaan untuk kasus ini sebagai

$$\begin{aligned}\max(\alpha_{52}, \alpha_{56}, \alpha_{60}, \alpha_{72}, \alpha_{76}, \alpha_{80}) &= \max(0, 0,67, 0, 0, 0,33, 0) \\ &= 0,67\end{aligned}$$

Daerah hasil aplikasi komposisi *rules Max* terlihat pada Gambar 4.21 dan fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi ini adalah

$$\mu(d) = \begin{cases} 0; & d \leq 30 \text{ atau } d \geq 70 \\ (d-30)/20; & 30 < d \leq 43,4 \\ 0,67; & 43,4 \leq d \leq 56,6 \\ (70-d)/20; & 56,6 \leq d < 70 \end{cases}.$$



Gambar 4.21 Daerah hasil komposisi *rules* pada contoh 2

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *Centroid*. Untuk itu, pertama-tama dihitung momen untuk daerah D_1 , D_2 , dan D_3 .

$$\begin{aligned}M_1 &= \int_{30}^{43,4} \left(\frac{(d-30)}{20} \right) d \, dd \\ &= \int_{30}^{43,4} \left(\left(\frac{d^2}{20} \right) - \frac{3}{2}d \right) dd \\ &= \int_{30}^{43,4} (0,05 d^2 - 1,5d) dd \\ &= 0,0167 d^3 - 0,75 d^2 \Big|_{30}^{43,4} \\ &= 174,78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_2 &= \int_{43,4}^{56,6} (0,67) d \, dd \\
&= 0,335 d^2 \Big|_{43,4}^{56,6} \\
&= 442,2 \\
M_3 &= \int_{56,6}^{70} \left(\frac{(70-d)}{20} \right) d \, dd \\
&= \int_{56,6}^{70} \left(\frac{7}{2} d - \left(\frac{d^2}{20} \right) \right) dd \\
&= \int_{56,6}^{70} (3,5 d - 0,05 d^2) dd \\
&= 1,75 d^2 - 0,0167 d^3 \Big|_{56,6}^{70} \\
&= 274,13
\end{aligned}$$

Kemudian dihitung luas daerahnya

$$\begin{aligned}
D_1 &= \frac{(0,67) \times (43,4 - 30)}{2} = 4,49 \\
D_2 &= (56,6 - 43,4) \times 0,67 = 8,84 \\
D_3 &= \frac{(0,67) \times (70 - 56,6)}{2} = 4,49
\end{aligned}$$

Titik pusat diperoleh dari:

$$\begin{aligned}
d^* &= \frac{174,78 + 442,2 + 274,13}{4,49 + 8,84 + 4,49} \\
&= 50,00000291 \\
&\approx 50
\end{aligned}$$

Dapat dilihat juga hasil dari perhitungan dengan *Matlab* yang menunjukkan nilai PCR = 50 (lampiran). Hal ini menunjukkan bahwa persentase

pasien terkena resiko kanker prostat adalah sebesar 50 %. Dikarenakan cukup tingginya persentase ini sehingga dapat disarankan bahwa pasien tersebut perlu melakukan biopsi.

4.2.3 Contoh 3

Seorang pasien yang berumur 60 tahun mempunyai kadar PSA = 15 ng/ml dengan PV = 250 ml, maka persentase orang tersebut terkena resiko kanker prostat dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut. Langkah pertama adalah mencari derajat keanggotaan dari setiap variabel *fuzzy*.

- Variabel PSA

Dari persamaan (4.1), jika nilai PSA = 15 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy High*

$$\mu_H(15) = \frac{(16-15)}{4} = \frac{1}{4} = 0,25$$

– himpunan *fuzzy Very High*

$$\mu_{VH}(15) = \frac{(15-12)}{4} = \frac{3}{4} = 0,75$$

- Variabel *age*

Dari persamaan (4.2), jika nilai *age* = 60 maka derajat keanggotaan *fuzzy* pada setiap himpunan adalah

– himpunan *fuzzy Middle Age*

$$\mu_{MA}(60) = \frac{(65-60)}{15} = \frac{5}{15} = 0,33$$

– himpunan *fuzzy Old*

$$\mu_O(60) = \frac{(60-50)}{15} = \frac{10}{15} = 0,67$$

- Variabel PV

Dari persamaan (4.3), jika nilai PV = 250 maka derajat keanggotaan *fuzzy* terletak pada himpunan *fuzzy Very Big*, $\mu_{VB}(250) = 1$.

Selanjutnya dicari nilai d untuk setiap *rule* dengan menggunakan fungsi **Min** pada aplikasi fungsi implikasinya.

[R₅₆] *IF* PSA = High **AND** age = Middle Age **AND** PV = Very Big **THEN**
PCR = High

$$\begin{aligned}\alpha_{56} &= \mu_H[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_H[15], \mu_{MA}[60], \mu_{VB}[250]) \\ &= \min(0,25, 0,33, 1) \\ &= 0,25\end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{56} = 0,25$ dapat diperoleh nilai $d[56]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_H(d_{56}) &\rightarrow \frac{(d[56] - 30)}{20} = 0,25 \\ d[56] &= 30 + (0,25 \times 20) = 35 \\ \text{atau } \mu_H(d_{56}) &\rightarrow \frac{(70 - d[56])}{20} = 0,25 \\ d[56] &= 70 - (0,25 \times 20) = 65\end{aligned}$$

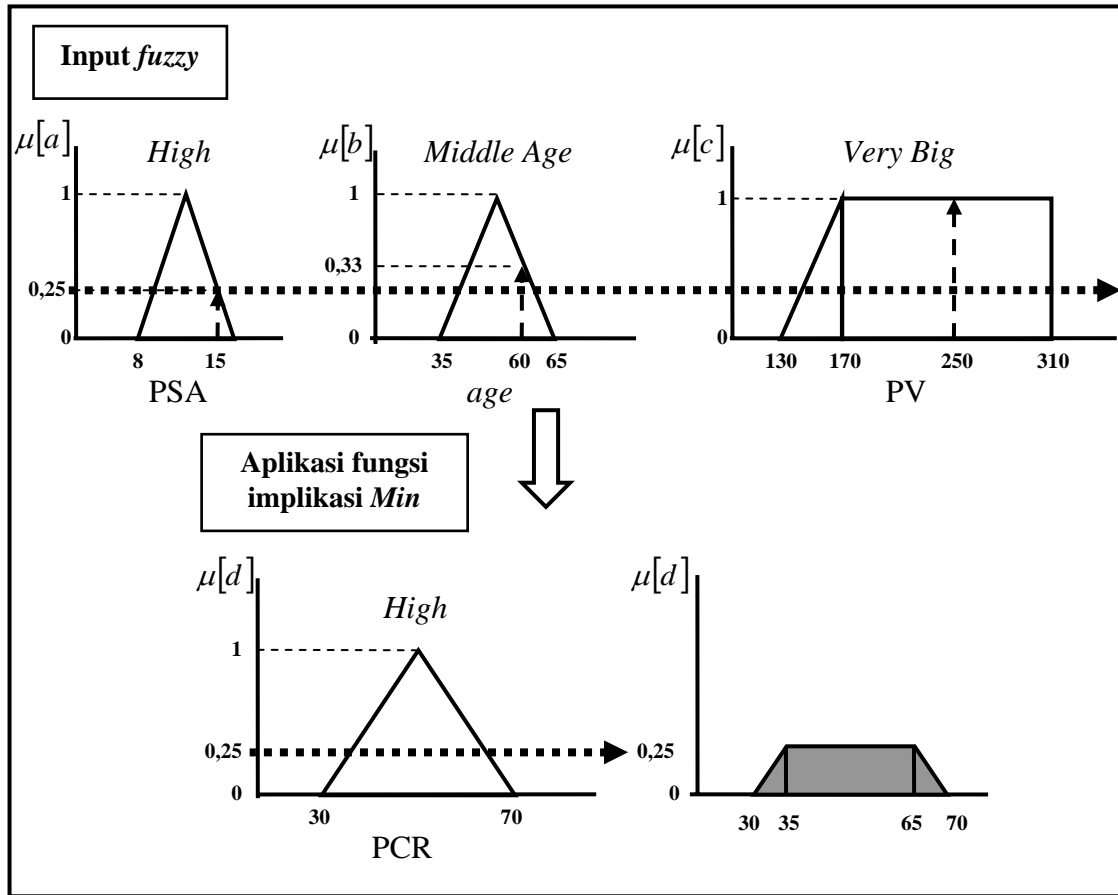
Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *High* adalah

$$\mu_H(d_{56}) = \begin{cases} 0; & d_{56} \leq 30 \text{ atau } d_{56} \geq 70 \\ (d_{56} - 30)/20; & 30 < d_{56} \leq 35 \\ 0,25 & 35 \leq d_{56} \leq 65 \\ (70 - d_{56})/20; & 65 \leq d_{56} < 70 \end{cases}.$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R₅₆ ditunjukkan oleh Gambar 4.22.

[R₆₀] *IF* PSA = Very High **AND** age = Middle Age **AND** PV = Very Big
THEN PCR = Very High

$$\begin{aligned}\alpha_{60} &= \mu_{VH}[\text{PSA}] \wedge \mu_{MA}[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\ &= \min(\mu_{VH}[15], \mu_{MA}[60], \mu_{VB}[250]) \\ &= \min(0,75, 0,33, 1) \\ &= 0,33\end{aligned}$$



Gambar 4.22 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{56} pada contoh 3

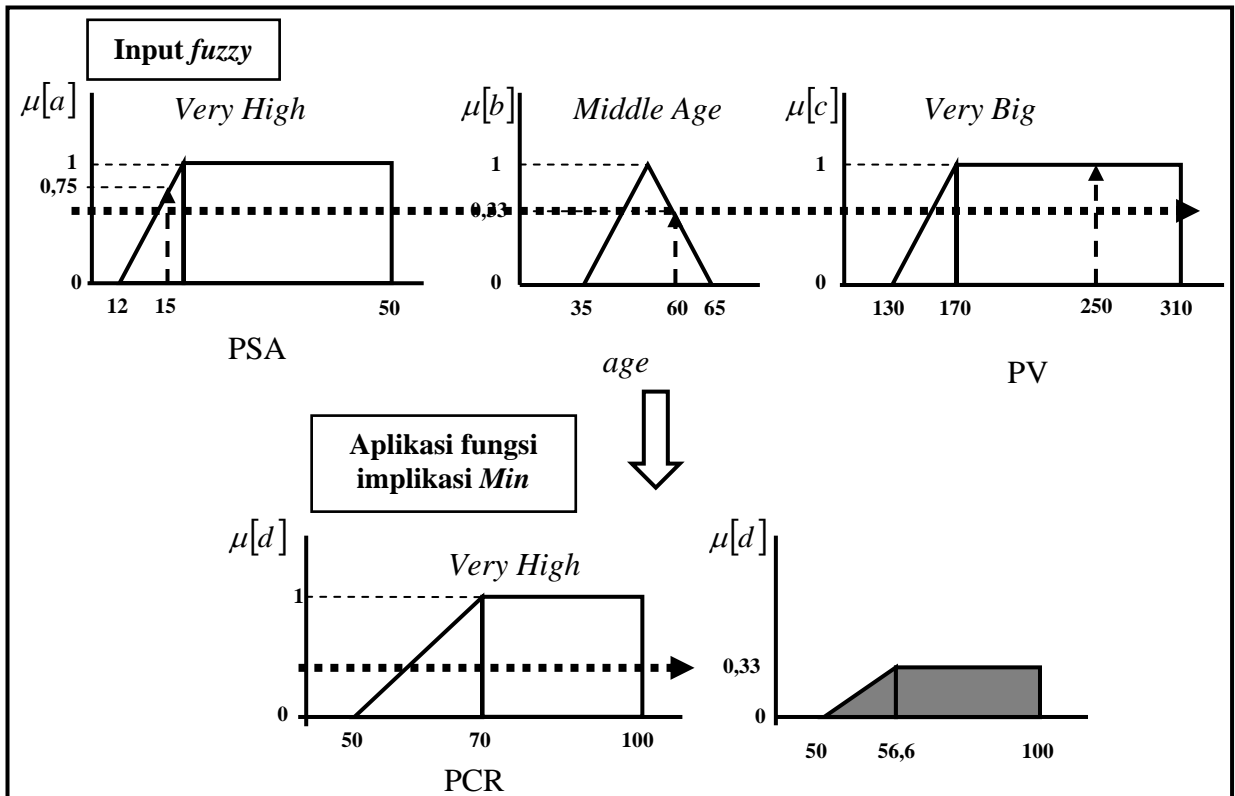
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{60} = 0,33$ dapat diperoleh nilai $d[60]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{VH}}(d_{60}) &\rightarrow \frac{(d[60] - 50)}{20} = 0,33 \\ d[60] &= 50 + (0,33 \times 20) \\ d[60] &= 56,6 \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very High* adalah

$$\mu_{\text{VH}}(d_{60}) = \begin{cases} 0; & d_{60} \leq 50 \\ (d_{60} - 50)/20; & 50 < d_{60} \leq 56,6 \\ 0,33; & 56,6 \leq d_{60} \leq 100 \end{cases}$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{60} ditunjukkan oleh Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{60} pada contoh 3

[R₇₆] *IF* PSA = High *AND* age = Old *AND* PV = Very Big *THEN*
PCR = High

$$\begin{aligned}
 \alpha_{76} &= \mu_H[\text{PSA}] \wedge \mu_O[\text{age}] \wedge \mu_{VB}[\text{PV}] \\
 &= \min(\mu_H[15], \mu_O[60], \mu_{VB}[250]) \\
 &= \min(0,25, 0,67, 1) \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{76} = 0,25$ dapat diperoleh nilai $d[76]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \mu_H(d_{76}) &\rightarrow \frac{(d[76] - 30)}{20} = 0,25 \\
 d[76] &= 30 + (0,25 \times 20) \\
 d[76] &= 35 \\
 \text{atau } \mu_H(d_{76}) &\rightarrow \frac{(70 - d[76])}{20} = 0,25
 \end{aligned}$$

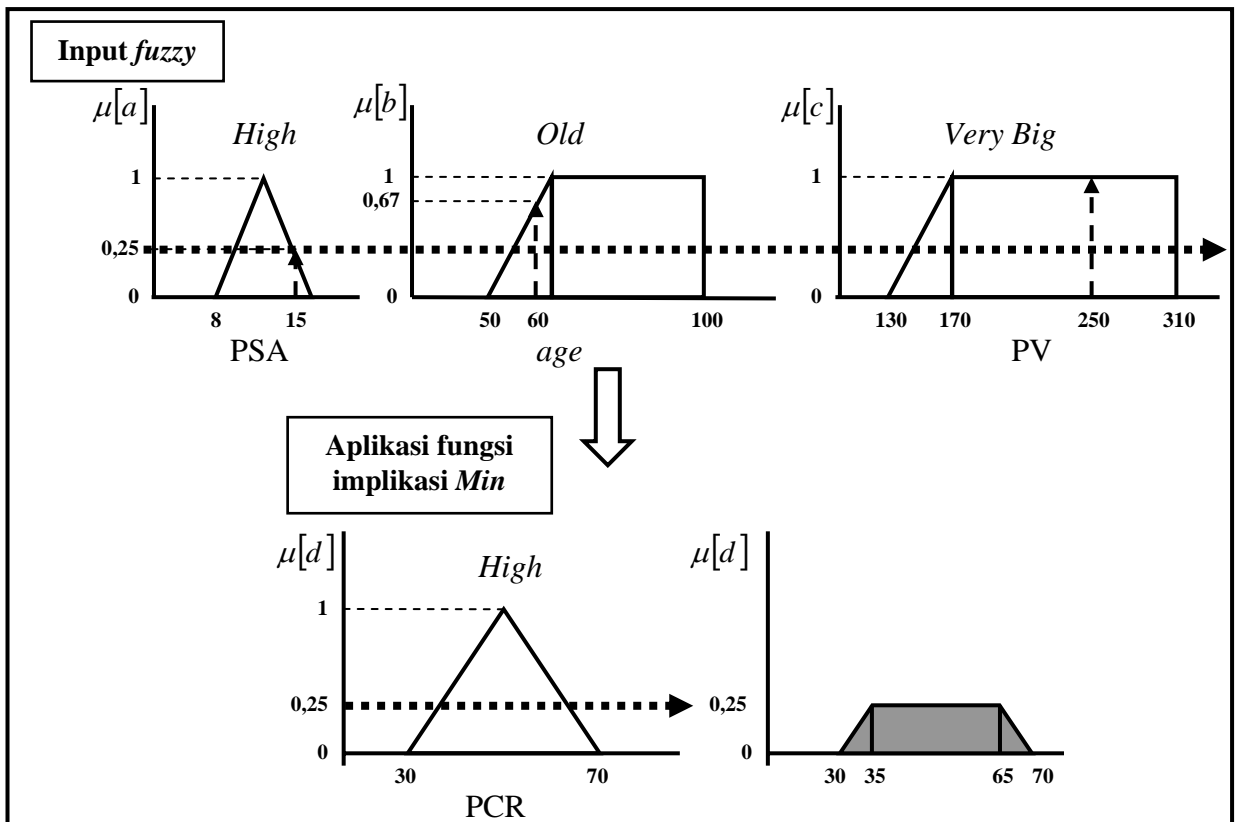
$$d[76] = 70 - (0,25 \times 20)$$

$$d[76] = 65$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *High* adalah

$$\mu_H(d_{76}) = \begin{cases} 0; & d_{76} \leq 30 \text{ atau } d_{76} \geq 70 \\ (d_{76} - 30)/20; & 30 < d_{76} \leq 35 \\ 0,25; & 35 \leq d_{76} \leq 65 \\ (70 - d_{76})/20; & 65 \leq d_{76} < 70 \end{cases}$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} ditunjukkan oleh Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{76} pada contoh 3

[R₈₀] IF PSA = Very High AND age = Old AND PV = Very Big THEN
PCR = Very High

$$\begin{aligned} \alpha_{80} &= \mu_{VH}[PSA] \wedge \mu_O[age] \wedge \mu_{VB}[PV] \\ &= \min(\mu_{VH}[15], \mu_O[60], \mu_{VB}[250]) \\ &= \min(0,75, 0,67, 1) \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

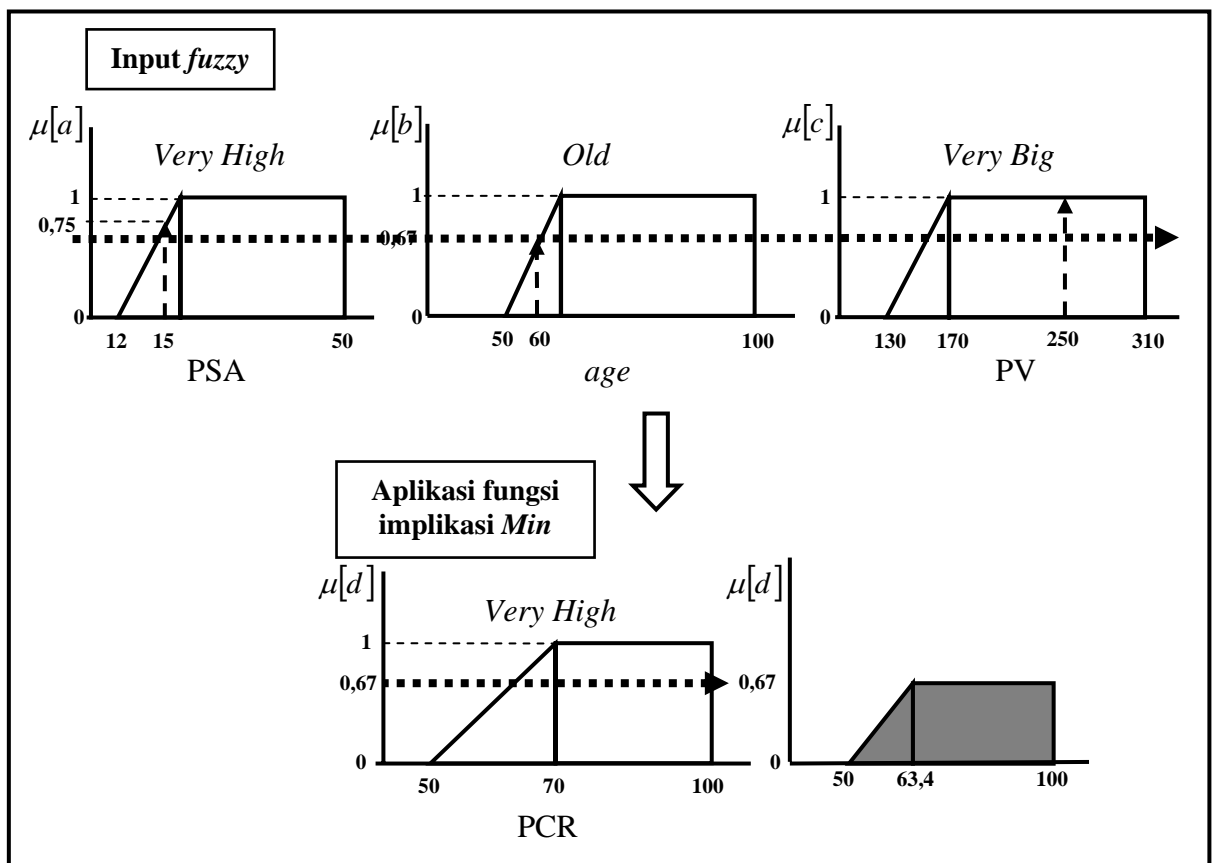
Berdasarkan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* PCR (4.4), maka pada saat $\alpha_{80} = 0,67$ dapat diperoleh nilai $d[80]$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\mu_{\text{VH}}(d_{80}) &\rightarrow \frac{(d[80] - 50)}{20} = 0,67 \\ d[80] &= 50 + (0,67 \times 20) \\ d[80] &= 63,4\end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan untuk variabel output PCR *Very High* adalah

$$\mu_{\text{VH}}(d_{80}) = \begin{cases} 0; & d_{80} \leq 50 \\ (d_{80} - 50)/20; & 50 < d_{80} \leq 63,4 \\ 0,67; & 63,4 \leq d_{80} \leq 100 \end{cases}$$

Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{80} ditunjukkan oleh Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Aplikasi fungsi implikasi untuk R_{80} pada contoh 3

Komposisi *fuzzy rules* dilakukan dengan menggunakan metode **Max**. Dari inferensi metode Mamdani **Max-Min** didapatkan derajat keanggotaan untuk kasus ini sebagai

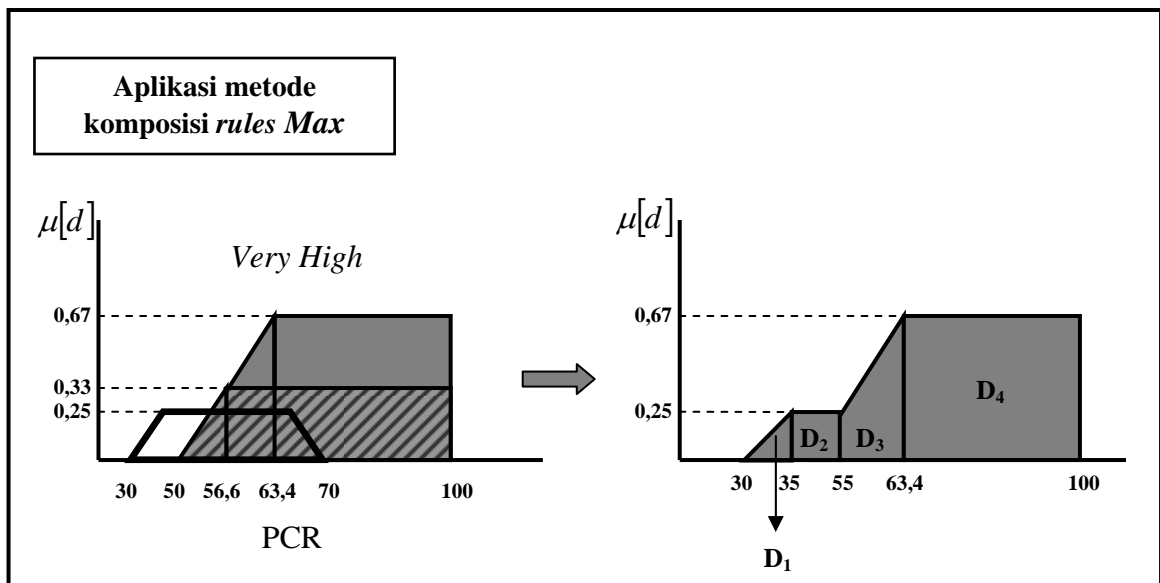
$$\begin{aligned}\max(\alpha_{56}, \alpha_{60}, \alpha_{76}, \alpha_{80}) &= \max(0,25, 0,33, 0,25, 0,67) \\ &= 0,67\end{aligned}$$

Titik potong antara daerah komposisi aturan terjadi pada saat $\mu_H = \mu_{vH} = 0,25$, yaitu

$$\begin{aligned}\frac{d-50}{20} &= 0,25 \\ d &= 50 + (0,25 \times 20) \\ d &= 55\end{aligned}$$

Daerah hasil aplikasi komposisi *rules Max* terlihat pada Gambar 4.26 dan fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi ini adalah

$$\mu(d) = \begin{cases} 0; & d \leq 30 \\ (d-30)/20; & 30 < d \leq 35 \\ 0,25; & 35 \leq d \leq 55 \\ (d-50)/20; & 55 \leq d \leq 63,4 \\ 0,67; & 63,4 \leq d \leq 100 \end{cases}.$$



Gambar 4.26 Daerah hasil komposisi *rules* pada contoh 3

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode ***Centroid***. Untuk itu, pertama-tama dihitung momen untuk daerah D₁, D₂, D₃, dan D₄.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \int_{30}^{35} \left(\frac{(d-30)}{20} \right) d \, dd \\
 &= \int_{30}^{35} (0,05d^2 - 1,5d) \, dd \\
 &= 0,0167 d^3 - 0,75d^2 \Big|_{30}^{35} \\
 &= 20,84
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= \int_{35}^{55} (0,25) d \, dd \\
 &= 0,125 d^2 \Big|_{35}^{55} \\
 &= 225
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_3 &= \int_{55}^{63,4} \left(\frac{(d-50)}{20} \right) d \, dd \\
 &= \int_{55}^{63,4} (0,05d^2 - 2,5d) \, dd \\
 &= 0,0167 d^3 - 1,25d^2 \Big|_{55}^{63,4} \\
 &= 231,22
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_4 &= \int_{63,4}^{100} (0,67) d \, dd \\
 &= 0,335 d^2 \Big|_{63,4}^{100} \\
 &= 2003,45
 \end{aligned}$$

Kemudian dihitung luas daerahnya

$$D_1 = \frac{(0,25) \times (35-30)}{2} = 0,63$$

$$D_2 = (55-35) \times 0,25 = 5$$

$$D_3 = \frac{(0,25 + 0,67) \times (63,4 - 55)}{2} = 3,9$$

$$D_4 = (100 - 63,4) \times 0,67 = 24,4$$

Titik pusat diperoleh dari:

$$\begin{aligned} d^* &= \frac{20,84 + 225 + 231,22 + 2003,45}{0,63 + 5 + 3,9 + 24,4} \\ &= 73,17109 \\ &\approx 73,2 \end{aligned}$$

Dapat dilihat juga hasil dari perhitungan dengan *Matlab* yang menunjukkan nilai PCR = 73,2 (lampiran). Hal ini menunjukkan bahwa persentase pasien terkena resiko kanker prostat adalah sebesar 73,2 %. Dikarenakan tingginya persentase ini sehingga dapat disarankan bahwa pasien tersebut harus melakukan biopsi.

Hasil perhitungan dengan FES kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari literatur seperti terlihat pada Tabel 4.4. Selain contoh kasus yang sudah dibahas sebelumnya, Tabel 4.4 juga memberikan data lain untuk setiap variabel input yang hasil akhirnya diperoleh dari perhitungan menggunakan *Matlab* 6.1 (lampiran). Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penggunaan FES mampu memberikan hasil persentase PCR yang berada dalam interval persentase PCR prediksi dari dokter ahli (Saritas *et al.*, 2003).

Tabel 4.4 Perbandingan hasil perhitungan dengan FES dan prediksi dokter ahli

No.	PSA (ng/ml)	Age (tahun)	PV (ml)	Prediksi dokter ahli PCR (%)	FES PCR (%)
1.	2	20	35	0,2 – 2	1,67
2.	3	45	90	1 – 4	1,53
3.	4	20	44	0,2 – 3	1,33
4.	12	55	200	48 – 55	50,00
5.	15	60	250	68 – 75	73,20
6.	40	65	211	72 - 85	79,80

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan

1. *Fuzzy Expert System* (FES) dapat digunakan untuk membantu mendiagnosis kanker prostat. Hasil perhitungan menggunakan FES memberikan hasil persentase PCR yang berada dalam interval persentase PCR prediksi dokter ahli.
2. FES untuk diagnosis kanker prostat memberikan suatu persentase seorang pasien terkena resiko kanker prostat, sehingga FES merupakan salah satu pertimbangan bagi dokter untuk mengambil keputusan perlu atau tidaknya tindakan biopsi bagi pasien tersebut.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis adalah

1. FES untuk diagnosis kanker prostat dapat dikembangkan dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang berbeda dari pembahasan pada skripsi ini, misal fungsi gauss dan fungsi- π .
2. FES untuk diagnosis kanker prostat ini juga dapat dikembangkan dengan menggunakan metode komposisi *fuzzy rules* yang berbeda dari pembahasan, yaitu metode ***additive*** (*sum*) atau metode probabilistik OR.

DAFTAR PUSTAKA

- Dubois, D. and H. Prade. (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, Inc., France.
- Jang, J.S.R., C.T. Sun and E. Mizutani. (2004). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. Pearson Education Pte.Ltd., India.
- Kusumadewi, S. (2002). *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S. dan H. Purnomo (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Pal, S.K. and D.K.D. Majumder. (1986). Alih Bahasa: Sardi S., dkk., *Fuzzy Pendekatan Matematik Untuk Pengenalan Pola*. UI-Press, Jakarta.
- PERSI. (2003). *Kanker Prostat*. <http://www.pdpersi.co.id>.
- Saritas, I., N. Allahverdi and U. Sert. (2003). *A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Prostate Cancer*, [http://ecet.ecs.ru.acad.bg/cst/ Docs/proceedings/S3/III.16.pdf](http://ecet.ecs.ru.acad.bg/cst/Docs/proceedings/S3/III.16.pdf).
- Susilo, F. (2003). *Pengantar Himpunan & Logika Kabur serta Aplikasinya*. Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- The Mathworks. (1984). *Fuzzy Logic Toolbox*. [www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/ fuzzy.html](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy.html).
- Wahyudi. (2005). *Implementasi Fuzzy Logic Controller pada Sistem Pengereman Kereta Api*. Transmisi, Vol. 10, No. 2, Desember 2005 : 10 – 13.
- Yan, J., M. Ryan and J. Power. (1994). *Using Fuzzy Logic Towards Intelligent Systems*. Prentice Hall International, London.

LAMPIRAN

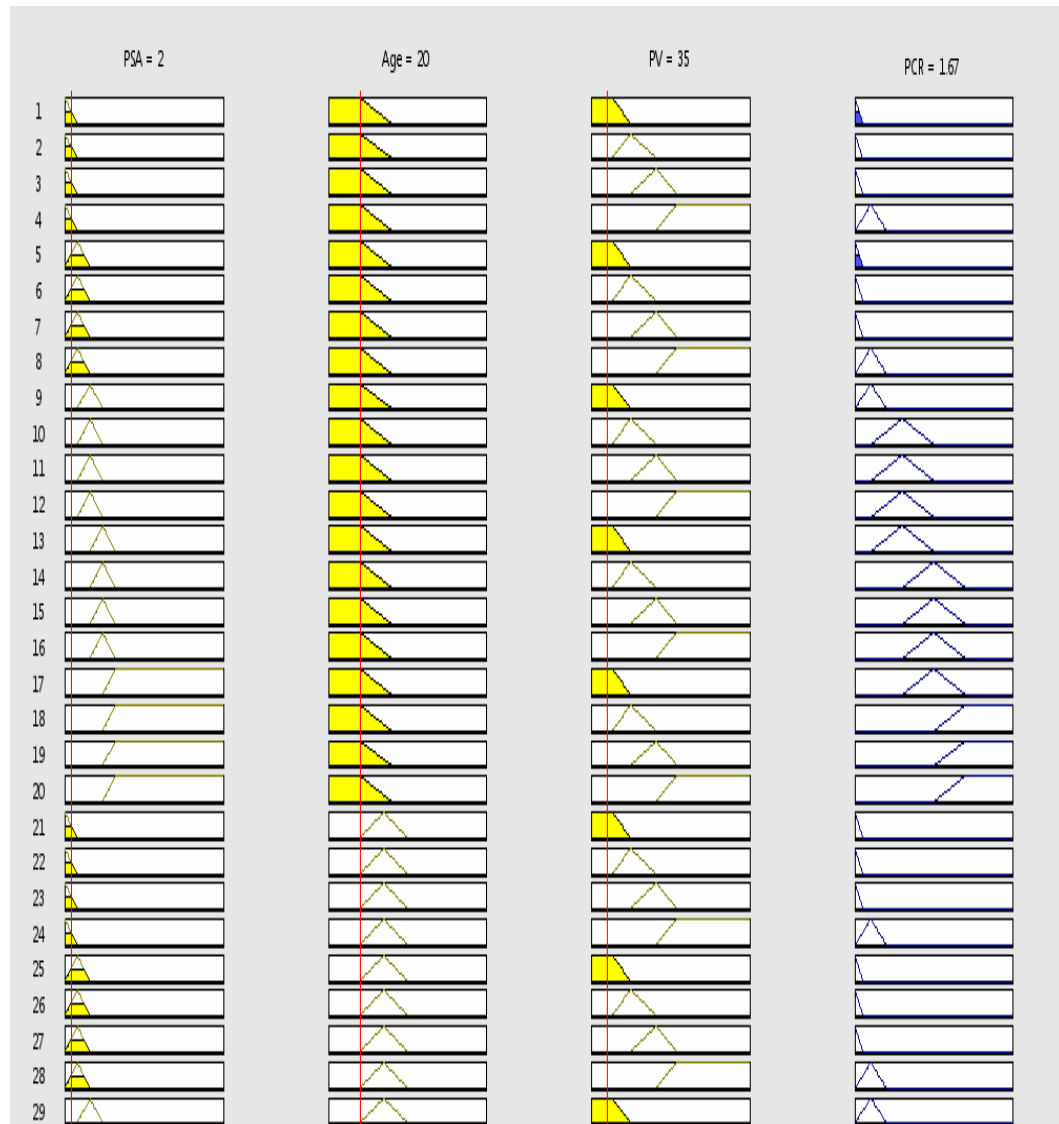
Lampiran 1. Tabel *fuzzy rules*

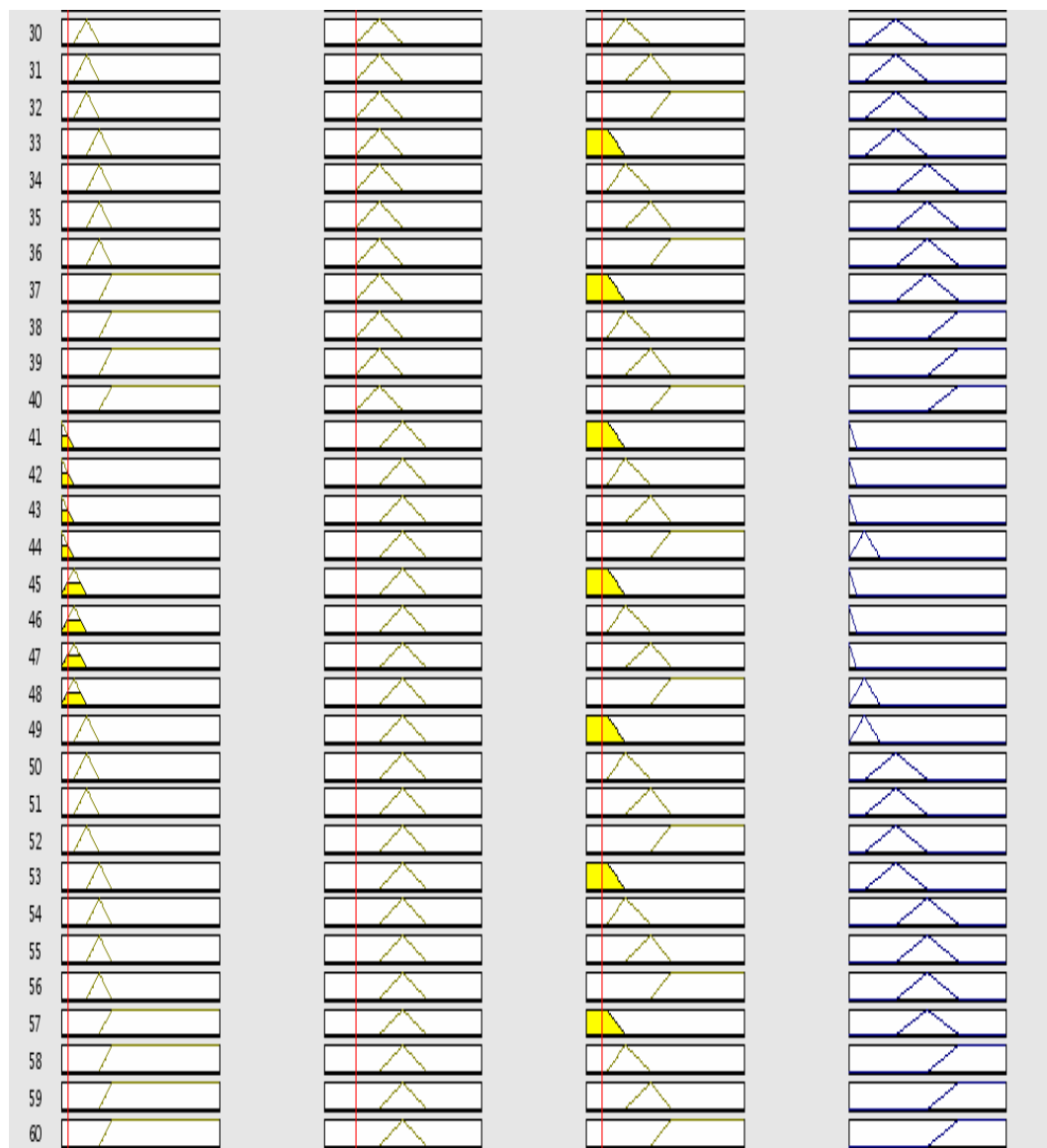
<i>Rules</i>	PSA	<i>Age</i>	PV	PCR
<i>Rule 1</i>	VL	VY	S	VL
<i>Rule 2</i>	VL	VY	M	VL
<i>Rule 3</i>	VL	VY	B	VL
<i>Rule 4</i>	VL	VY	VB	L
<i>Rule 5</i>	L	VY	S	VL
<i>Rule 6</i>	L	VY	M	VL
<i>Rule 7</i>	L	VY	B	VL
<i>Rule 8</i>	L	VY	VB	L
<i>Rule 9</i>	M	VY	S	L
<i>Rule 10</i>	M	VY	M	M
<i>Rule 11</i>	M	VY	B	M
<i>Rule 12</i>	M	VY	VB	M
<i>Rule 13</i>	H	VY	S	M
<i>Rule 14</i>	H	VY	M	H
<i>Rule 15</i>	H	VY	B	H
<i>Rule 16</i>	H	VY	VB	H
<i>Rule 17</i>	VH	VY	S	H
<i>Rule 18</i>	VH	VY	M	VH
<i>Rule 19</i>	VH	VY	B	VH
<i>Rule 20</i>	VH	VY	VB	VH
<i>Rule 21</i>	VL	Y	S	VL
<i>Rule 22</i>	VL	Y	M	VL
<i>Rule 23</i>	VL	Y	B	VL
<i>Rule 24</i>	VL	Y	VB	L
<i>Rule 25</i>	L	Y	S	VL

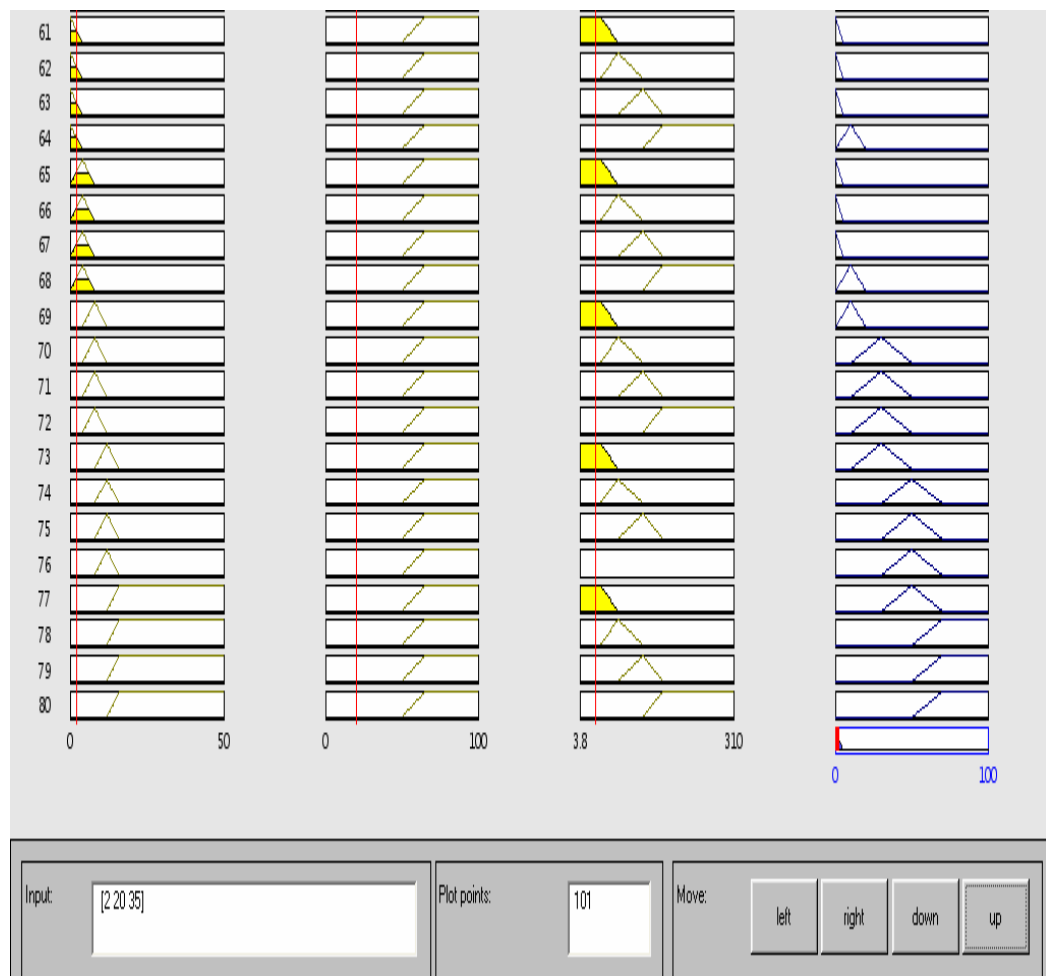
<i>Rule 26</i>	L	Y	M	VL
<i>Rule 27</i>	L	Y	B	VL
<i>Rule 28</i>	L	Y	VB	L
<i>Rule 29</i>	M	Y	S	L
<i>Rule 30</i>	M	Y	M	M
<i>Rule 31</i>	M	Y	B	M
<i>Rule 32</i>	M	Y	VB	M
<i>Rule 33</i>	H	Y	S	M
<i>Rule 34</i>	H	Y	M	H
<i>Rule 35</i>	H	Y	B	H
<i>Rule 36</i>	H	Y	VB	H
<i>Rule 37</i>	VH	Y	S	H
<i>Rule 38</i>	VH	Y	M	VH
<i>Rule 39</i>	VH	Y	B	VH
<i>Rule 40</i>	VH	Y	VB	VH
<i>Rule 41</i>	VL	MA	S	VL
<i>Rule 42</i>	VL	MA	M	VL
<i>Rule 43</i>	VL	MA	B	VL
<i>Rule 44</i>	VL	MA	VB	L
<i>Rule 45</i>	L	MA	S	VL
<i>Rule 46</i>	L	MA	M	VL
<i>Rule 47</i>	L	MA	B	VL
<i>Rule 48</i>	L	MA	VB	L
<i>Rule 49</i>	M	MA	S	L
<i>Rule 50</i>	M	MA	M	M
<i>Rule 51</i>	M	MA	B	M
<i>Rule 52</i>	M	MA	VB	M
<i>Rule 53</i>	H	MA	S	M
<i>Rule 54</i>	H	MA	M	H
<i>Rule 55</i>	H	MA	B	H

<i>Rule 56</i>	H	MA	VB	H
<i>Rule 57</i>	VH	MA	S	H
<i>Rule 58</i>	VH	MA	M	VH
<i>Rule 59</i>	VH	MA	B	VH
<i>Rule 60</i>	VH	MA	VB	VH
<i>Rule 61</i>	VL	O	S	VL
<i>Rule 62</i>	VL	O	M	VL
<i>Rule 63</i>	VL	O	B	VL
<i>Rule 64</i>	VL	O	VB	L
<i>Rule 65</i>	L	O	S	VL
<i>Rule 66</i>	L	O	M	VL
<i>Rule 67</i>	L	O	B	VL
<i>Rule 68</i>	L	O	VB	L
<i>Rule 69</i>	M	O	S	L
<i>Rule 70</i>	M	O	M	M
<i>Rule 71</i>	M	O	B	M
<i>Rule 72</i>	M	O	VB	M
<i>Rule 73</i>	H	O	S	M
<i>Rule 74</i>	H	O	M	H
<i>Rule 75</i>	H	O	B	H
<i>Rule 76</i>	H	O	VB	H
<i>Rule 77</i>	VH	O	S	H
<i>Rule 78</i>	VH	O	M	VH
<i>Rule 79</i>	VH	O	B	VH
<i>Rule 80</i>	VH	O	VB	VH

Lampiran 2. *Rules viewer* untuk nilai PSA=2 ng/ml, age=20 thn, dan PV=35 ml



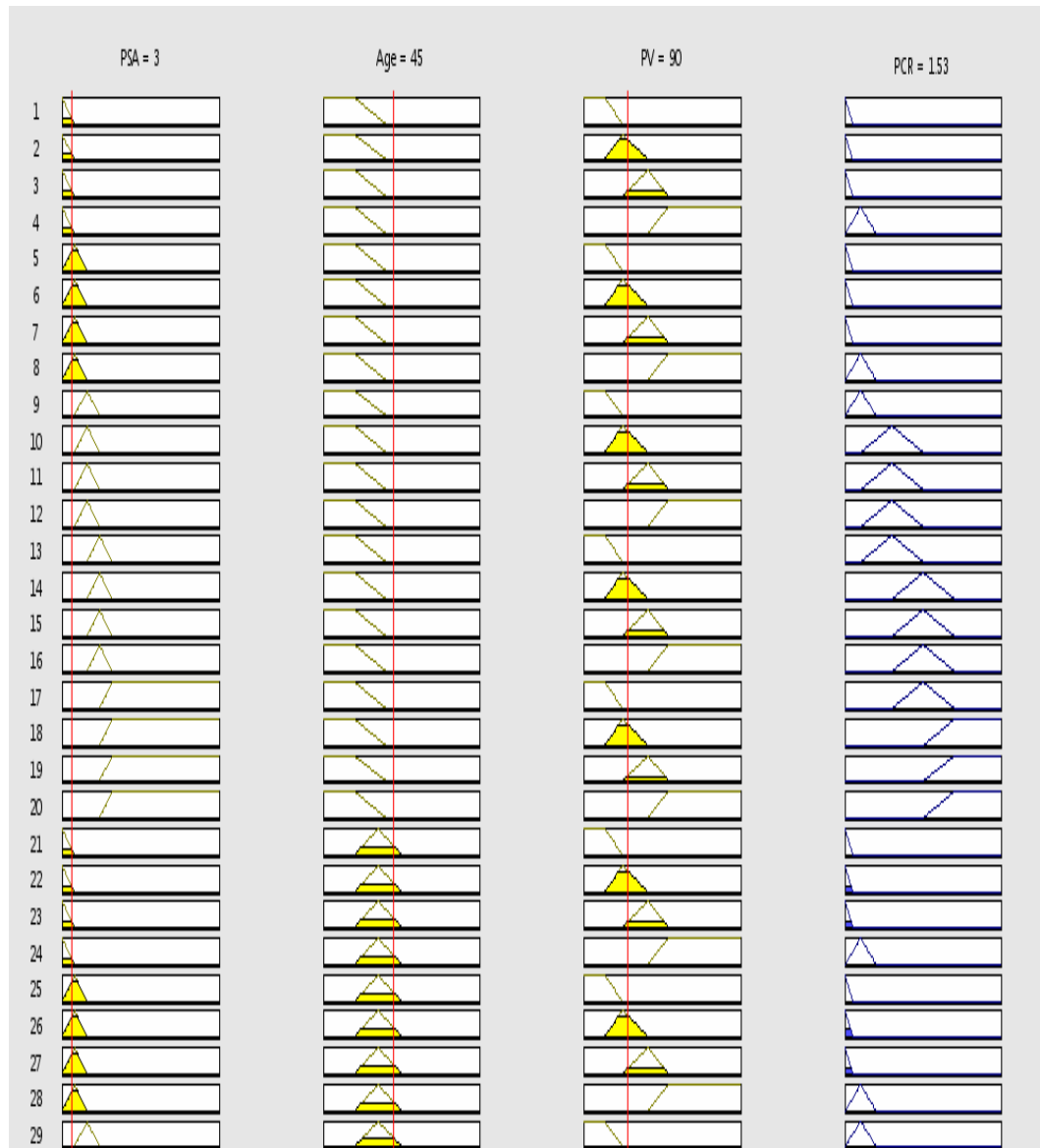


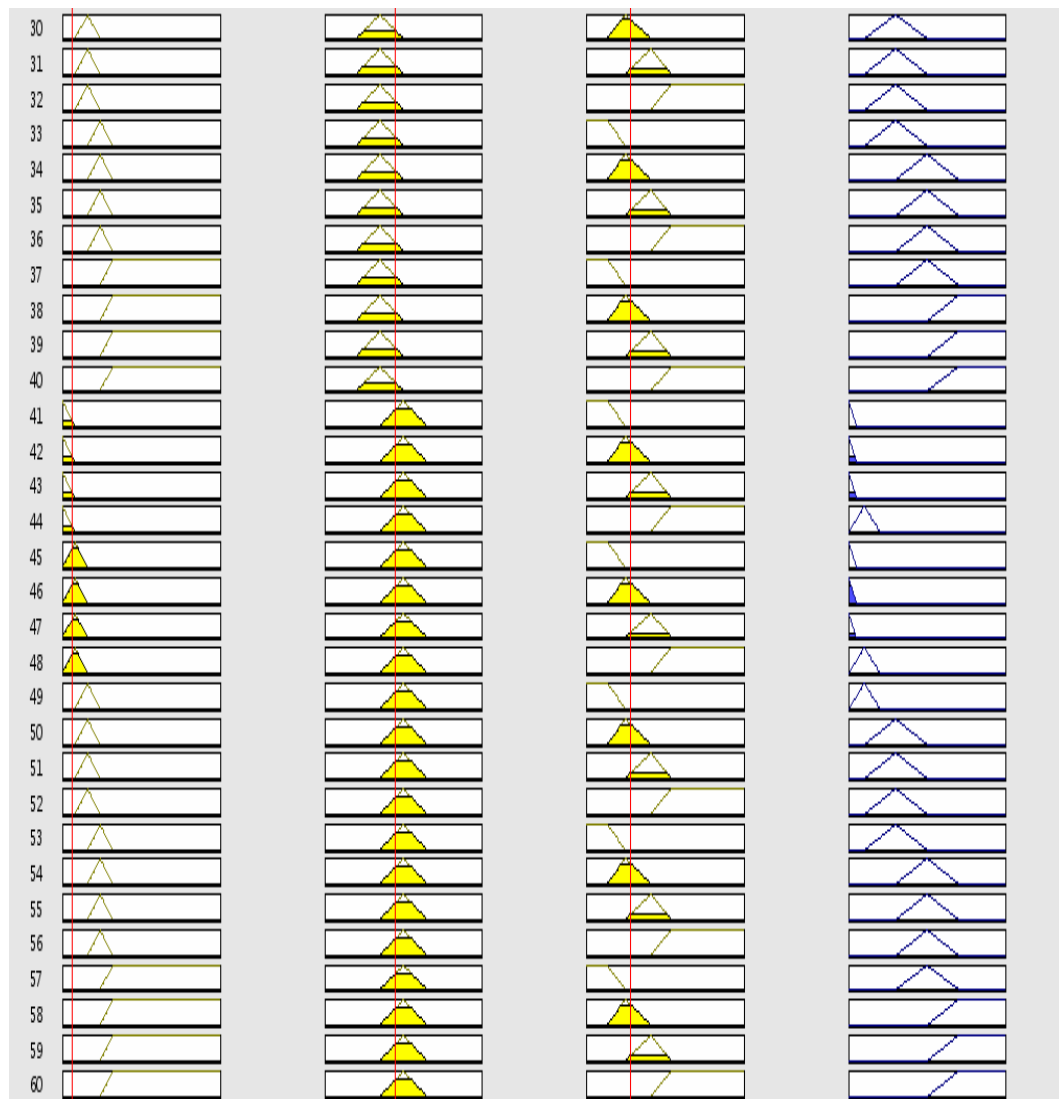


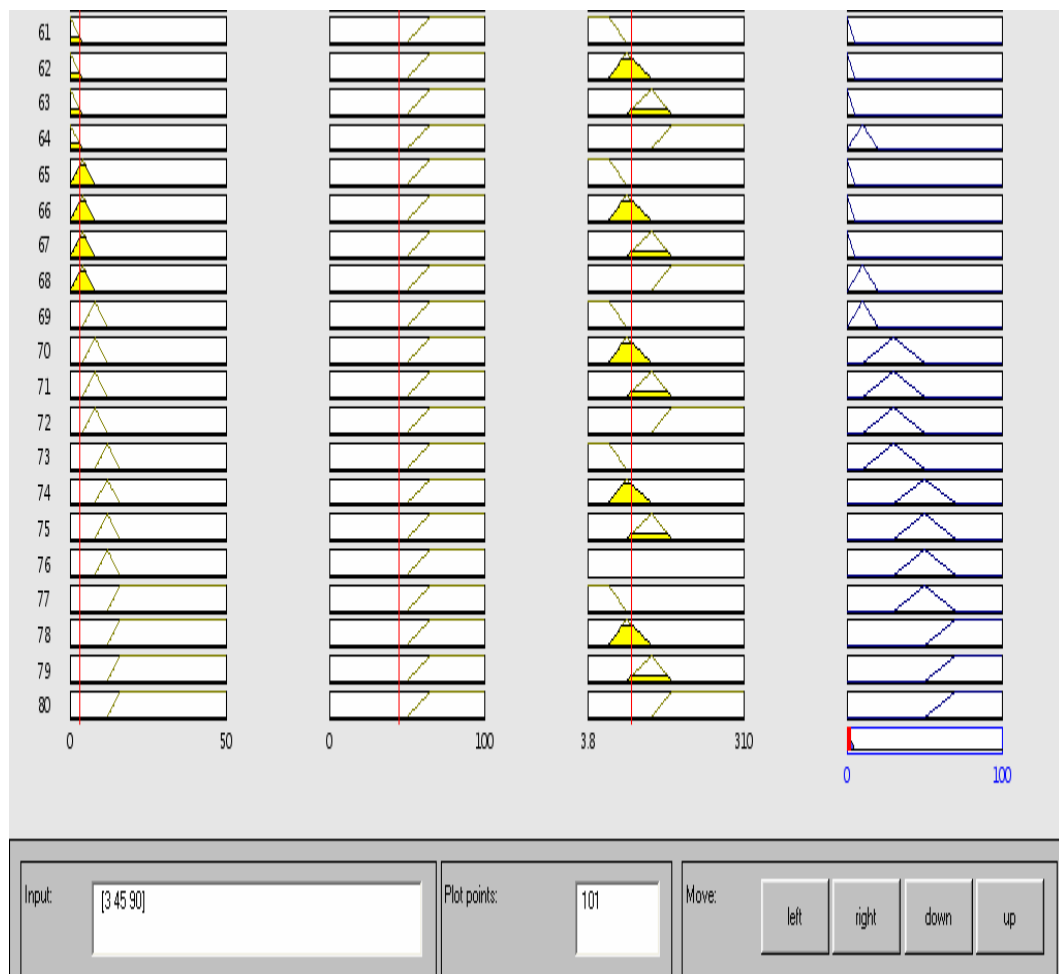
Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-1 dan R-5. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.

Lampiran 3. *Rules viewer* untuk nilai PSA=3 ng/ml, age=45 thn, dan PV=90 ml



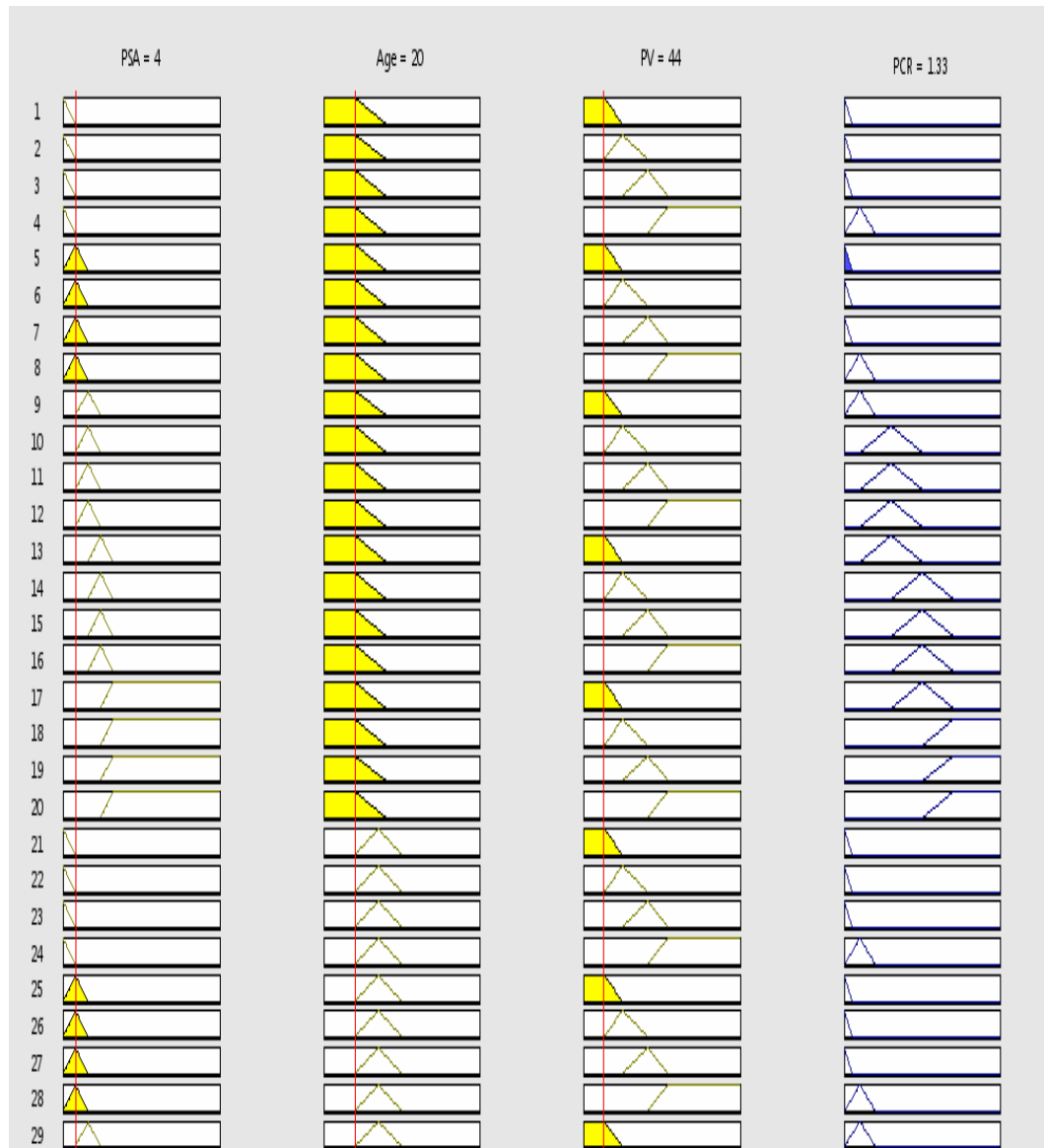


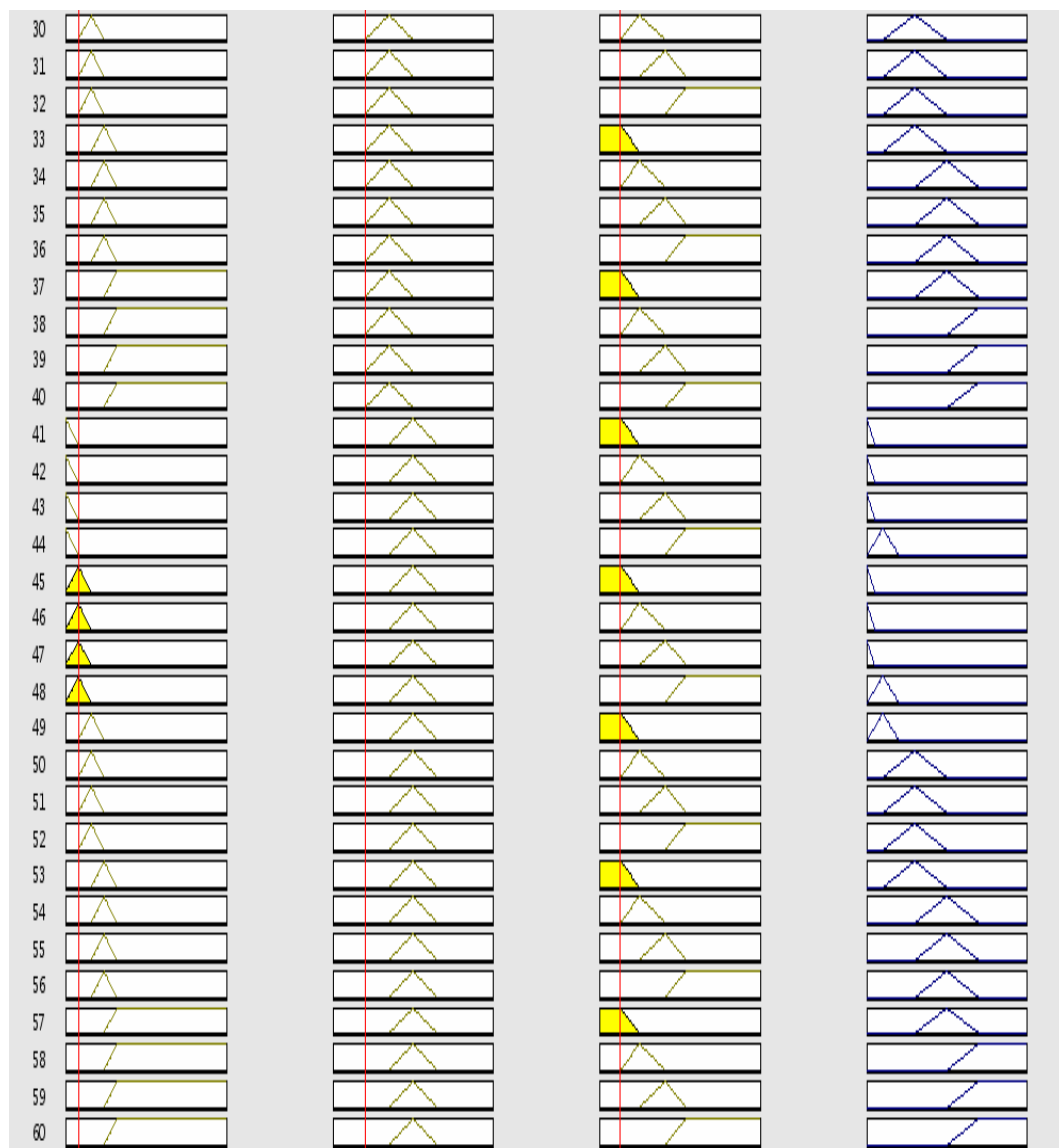


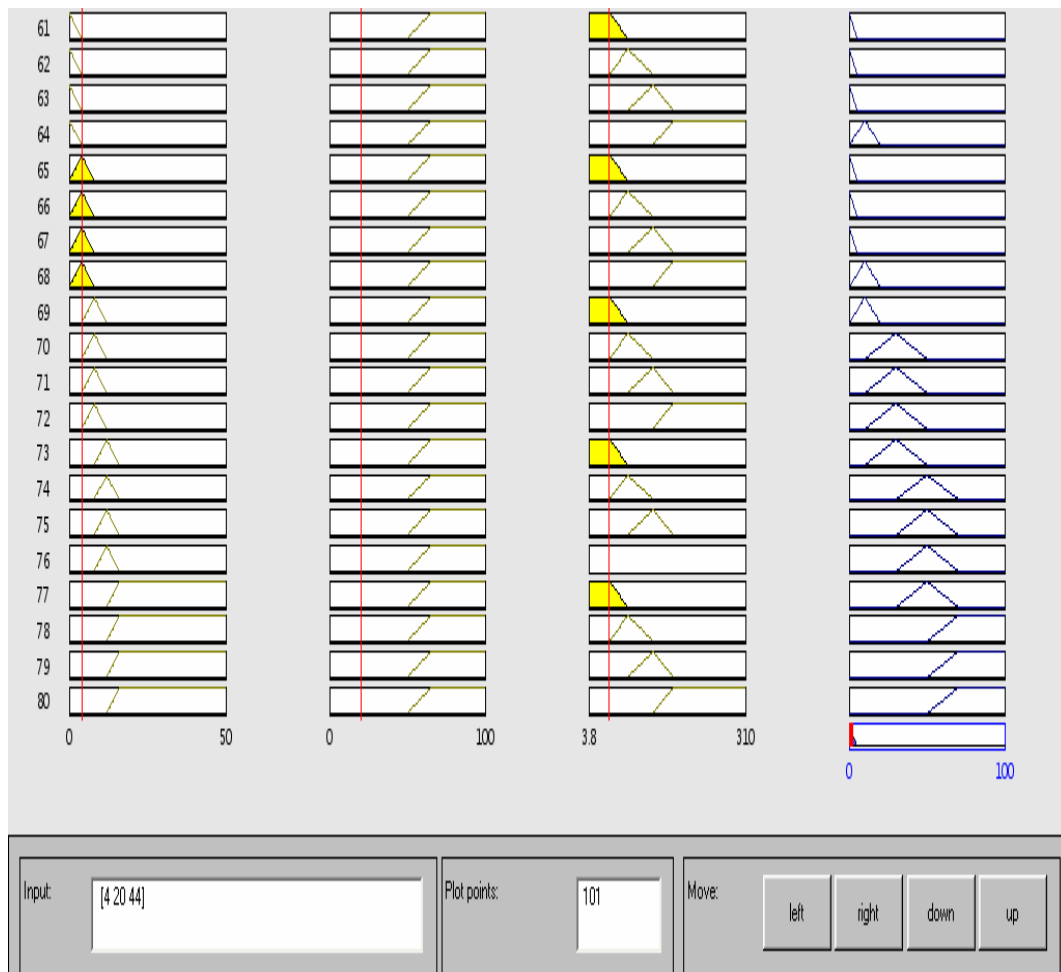
Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-22, R-23, R-26, R-27, R-42, R-43, R-46, dan R-47. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.

Lampiran 4. *Rules viewer* untuk nilai PSA=4 ng/ml, age=20 thn, dan PV=44 ml



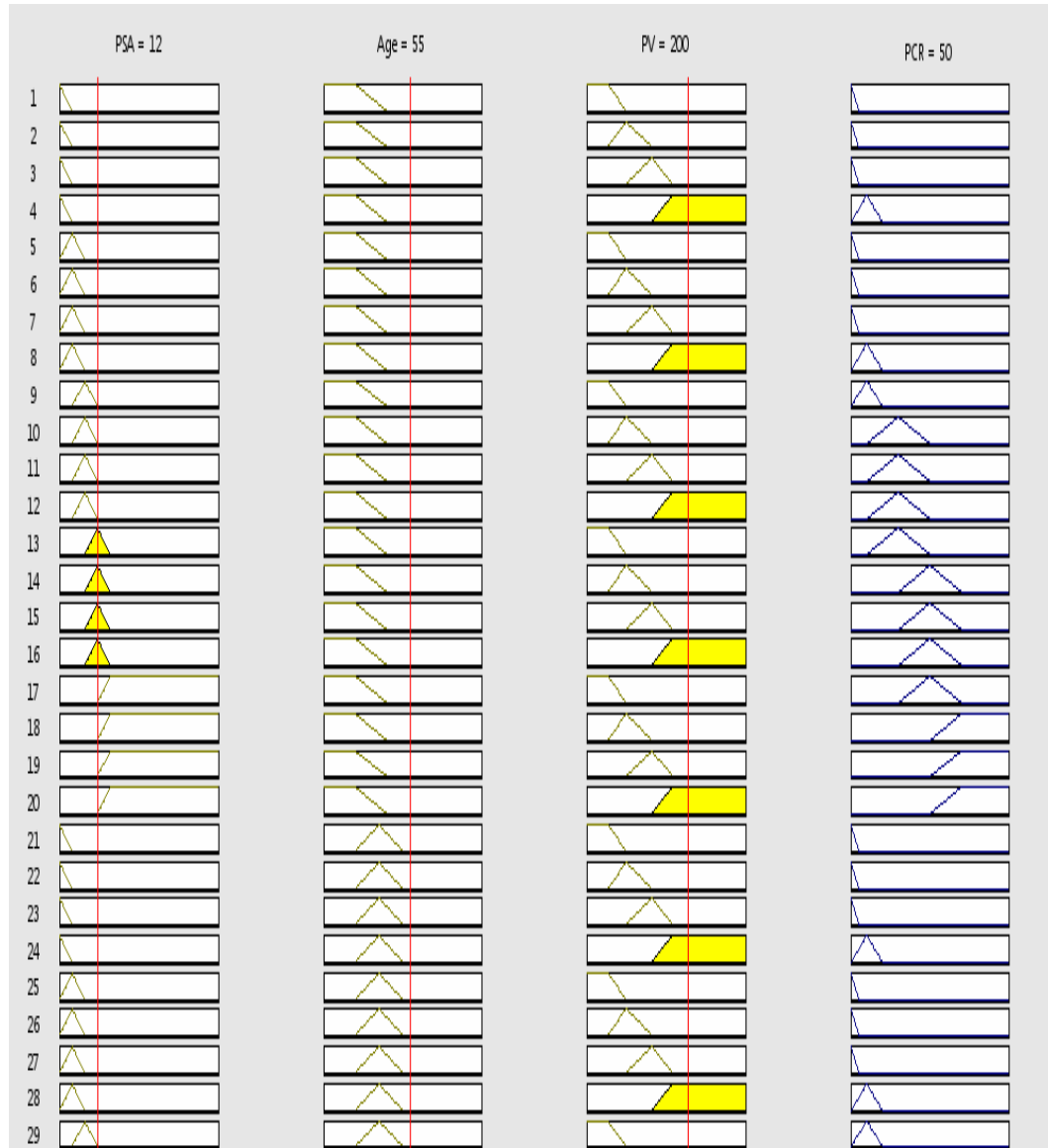


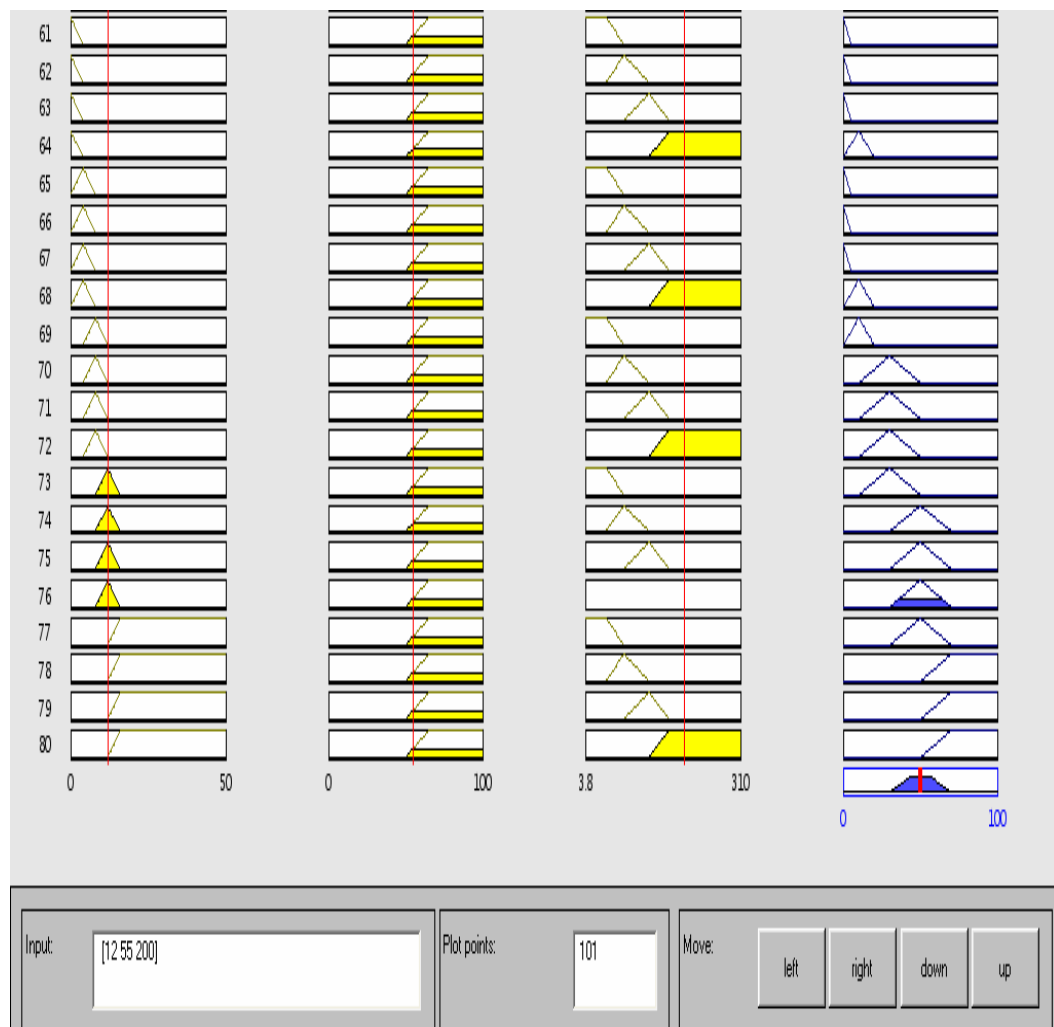


Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-5. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.

Lampiran 5. *Rules viewer* untuk nilai PSA=12 ng/ml, *age*=55 thn, dan PV=200 ml

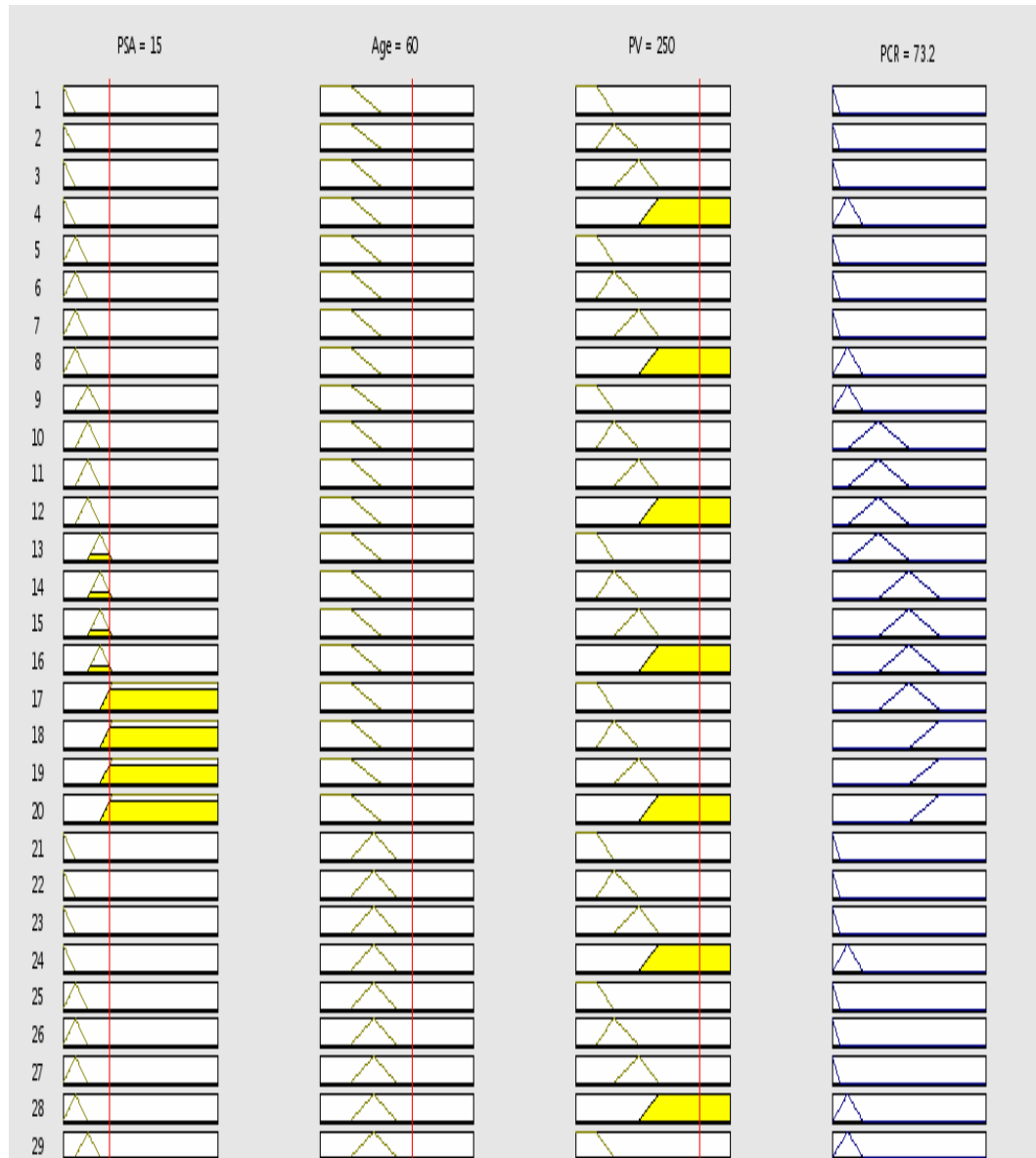


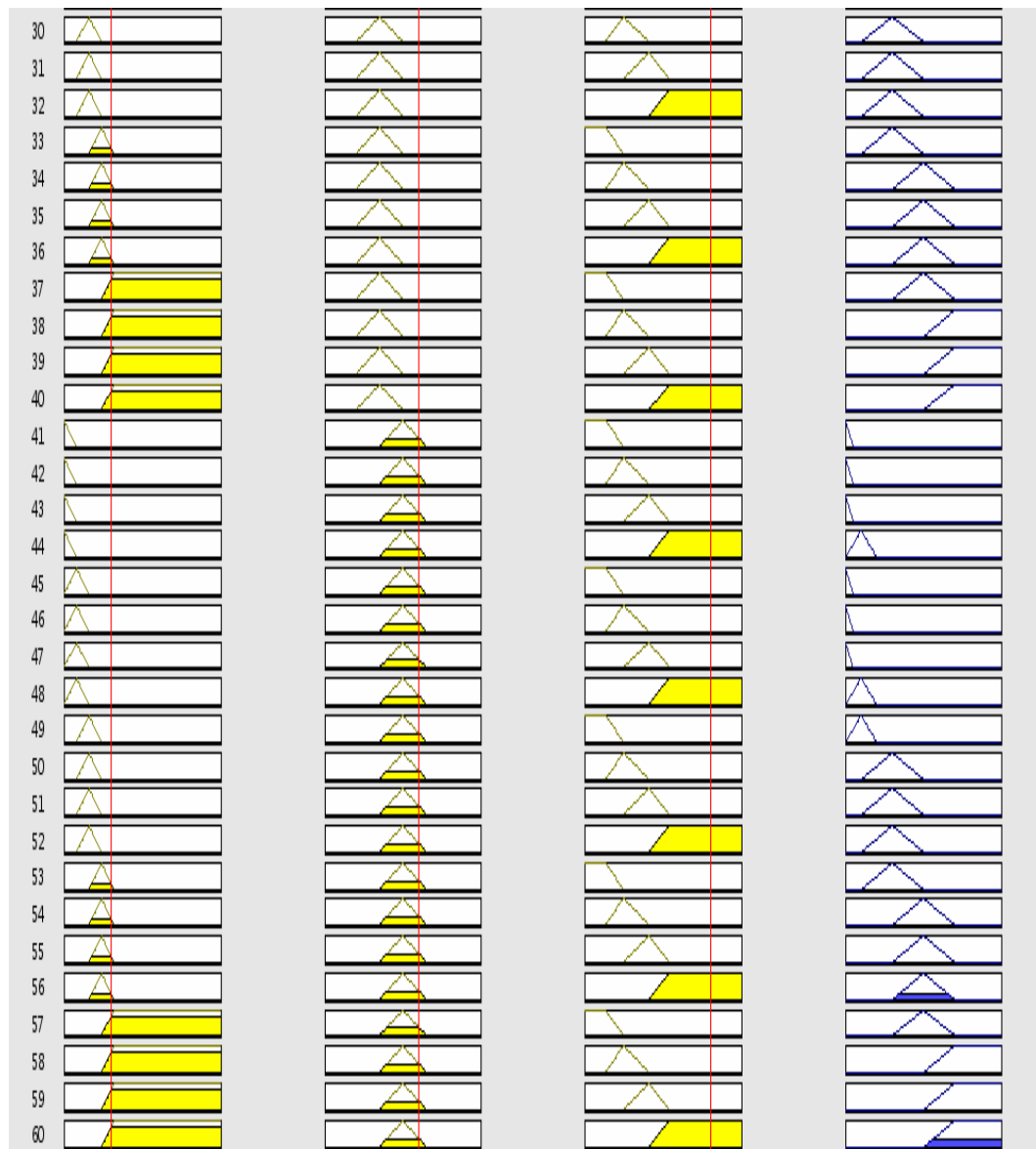


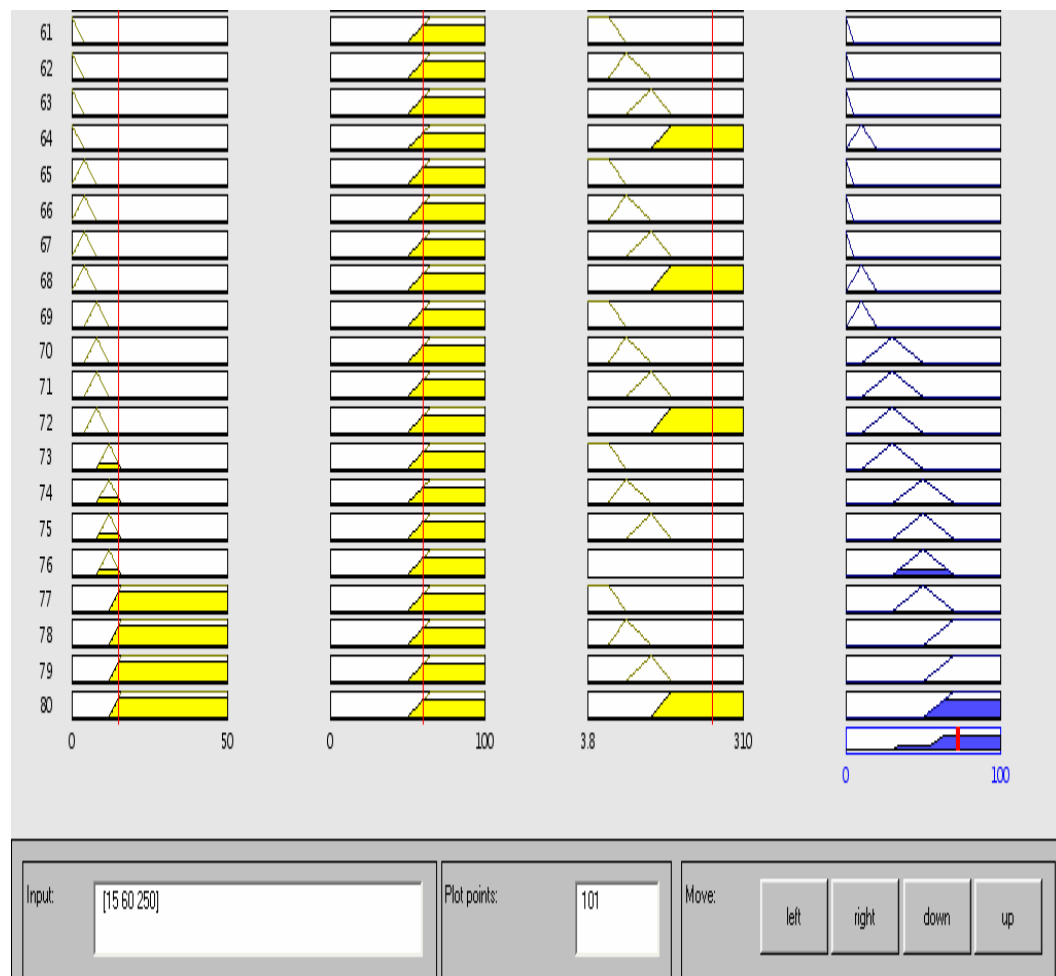
Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-56 dan R-76. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.

Lampiran 6. *Rules viewer* untuk nilai PSA=15 ng/ml, age=60 thn, dan PV=250 ml



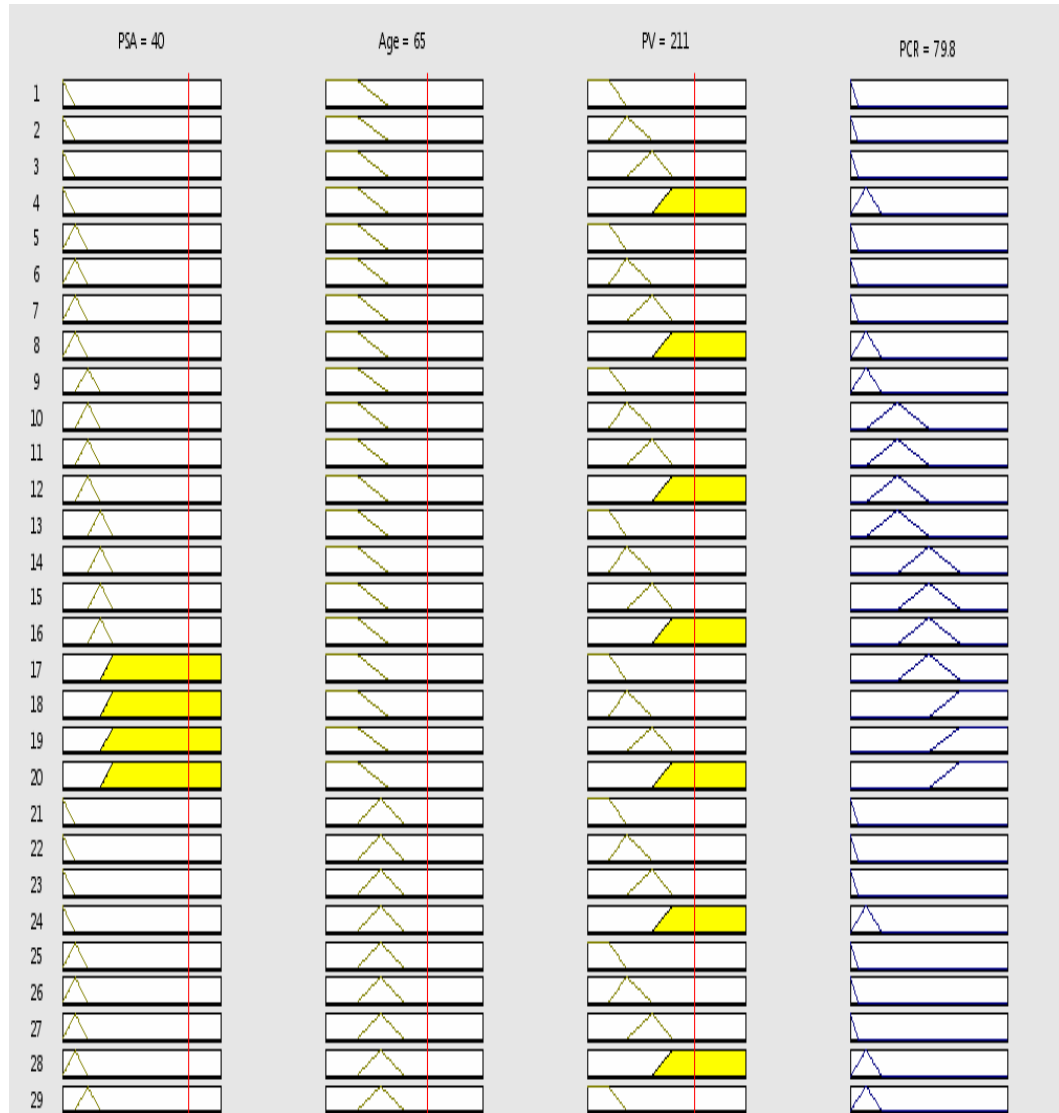


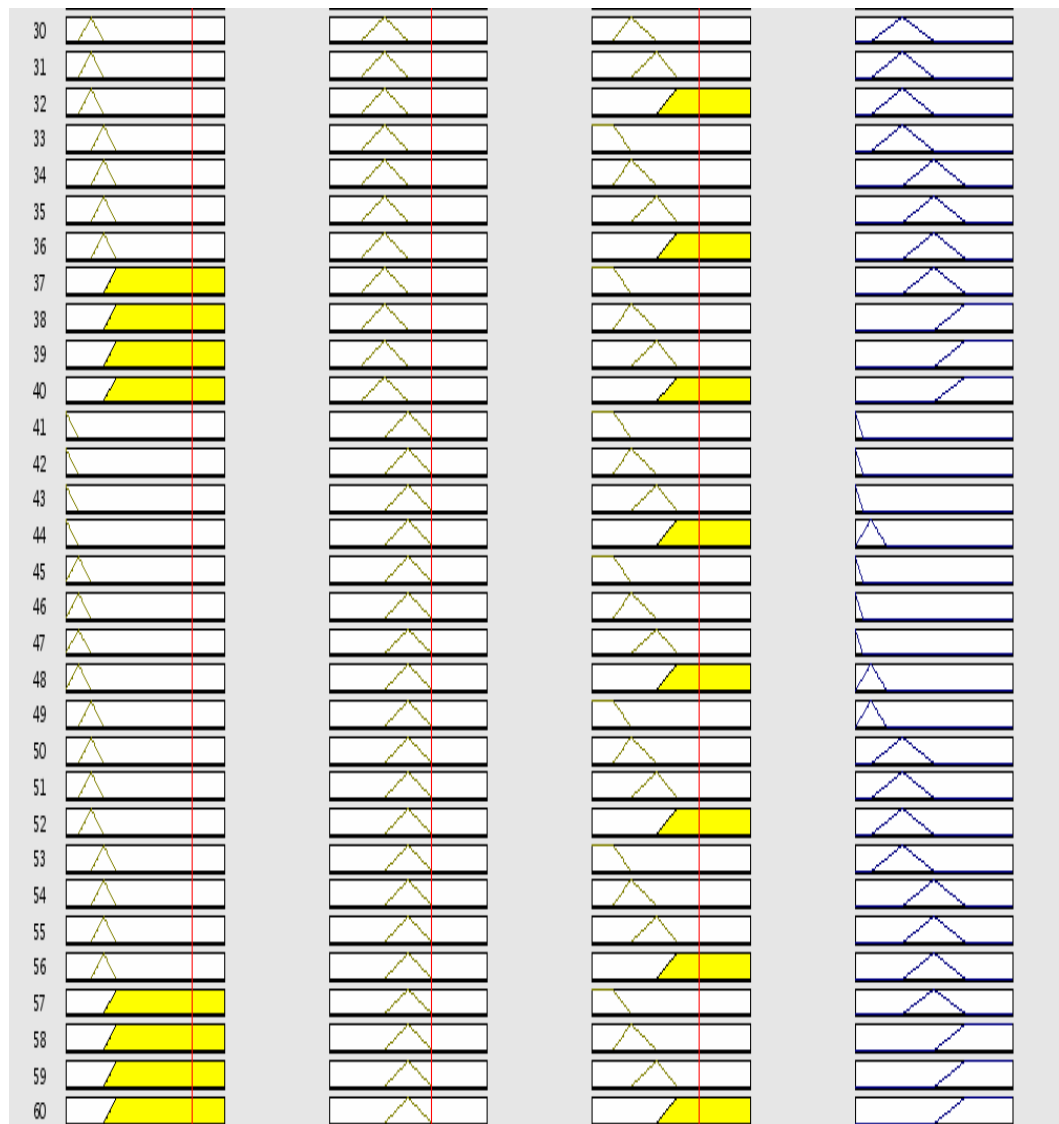


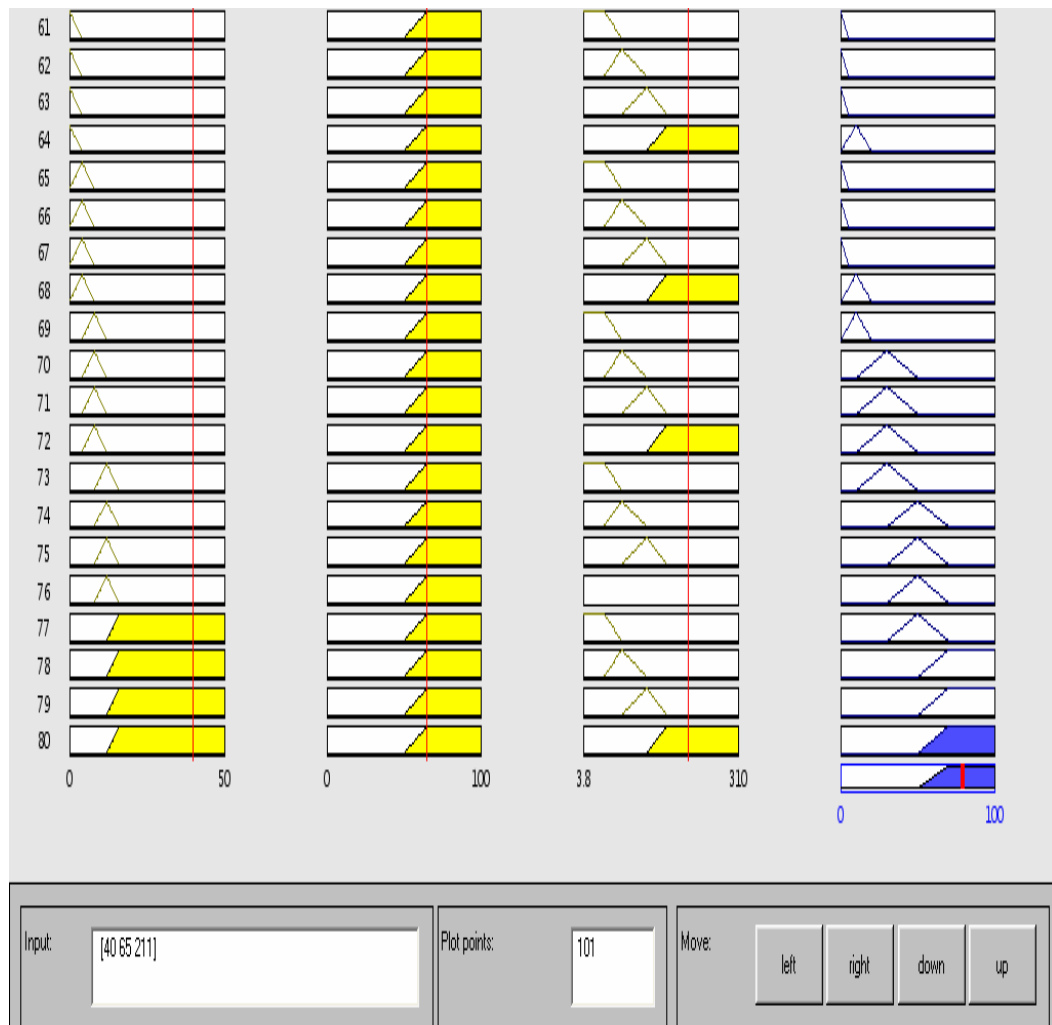
Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-56, R-60, R-76, dan R-80. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.

Lampiran 7. *Rules viewer* untuk nilai PSA=40 ng/ml, *age*=65 thn, dan PV=211 ml







Keterangan:

Rules terpilih untuk kasus ini adalah R-80. Hal ini ditunjukkan oleh warna biru pada output PCR dan ketiga input PSA, *age*, dan PV berwarna kuning.